Manual de

Introducción a la BOTANICA

FONTÚRBEL • ACHÁ • MONDACA

2º edición



Editorial Publicaciones Integrales

Manual de Introducción a la BOTANICA

FONTÚRBEL • ACHÁ • MONDACA

2º edición



Francisco E. Fontúrbel Rada
Universidad de Los Lagos
Osorno, Chile

Darío Achá Cordero
Universidad de Trent
Peterborough, Canadá

Diego A. Mondaca Gutiérrez
Universidad Mayor de San Andrés
La Paz, Bolivia

Publicaciones Integrales de Bolivia

En Internet: http://www.publicacionesintegrales.8m.com

La Paz, Bolivia.

Portada: Flor silvestre del Hibisco de Coral (*Hibiscus schizopetalus*) de los bosques montanos de los Yungas de La Paz

Diseño y fotografía*:* Francisco E. Fontúrbel.

Contratapa: Palabras del Dr. Stephan G. Beck.

Ilustración*: Adesmia polyphylla*, de Carlos Maldonado

Armado, composición y edición electrónica: Francisco E. Fontúrbel.

Forma correcta de catalogar esta obra:

FONTÚRBEL, F.E.
ACHÁ, D.
MONDACA, D.A.

MANUAL DE INTRODUCCIÓN A LA BOTÁNICA
Segunda edición
Publicaciones Integrales. La Paz, 2007
ISBN: 99905–0–548–9
MATERIA: Botánica
Formato: 215 x 275 mm Páginas: xviii + 252

Forma recomendada de citar esta obra:

FONTÚRBEL, F.E., D. ACHÁ & D.A. MONDACA. 2007. *Manual de Introducción a la Botánica.* 2º edición, Ed. Publicaciones Integrales, La Paz, 252p.

Depósito legal: 4–1–963–04
ISBN: 99905–0–548–9

Primera edición: 1999
Segunda edición: 2007



A nuestras familias y amigos por su apoyo incondicional

A quienes hacen y desean hacer ciencia

A nuestras inspiradoras musas

Agradecimientos

La publicación de esta segunda edición es el resultado del trabajo de los autores y el apoyo desinteresado de un selecto grupo de personas, sin cuyo concurso no habría sido posible.

Por esto, deseamos hacer público nuestro agradecimiento a la Dra. Mónica Moraes por ser la principal impulsora de la primera edición, y al Dr. Javier Cerdà, quien en vida fue director del Laboratorio de Biología "San Calixto" e hizo posible la publicación del primer Manual de Introducción a la Botánica. Agradecemos además al Ing. Oscar Gumucio, gerente de ABACOS Ltda y a Virginia Padilla de la Editorial del Instituto de Ecología, por el auspicio brindado en la primera edición.

A nuestros revisores, Dr. Stephan Beck, Dr. Javier Cerdà, Lic. Emilia García, Dr. Abul Kalam, MSc. Rosa Isela Meneses, Lic. Ana Portugal y MSc. Juan Pablo Torrico, quienes pacientemente orientaron y enriquecieron el contenido de los capítulos.

Un agradecimiento especial a Cecilia Pabón y a don Carlos Maldonado por su talentoso aporte en parte del material gráfico.

A la Lic. Narel Paniagua; Rosember Hurtado; Dr. Antonio Peres Velasco; Dr. Carlos Gerke; Isabel Fontúrbel; Neil y Mariana Pickers; Heidy Resnikowsky; Luis Castello y al personal del laboratorio de SIG de PAF–BOL; Dr. Gabriel Baracatt, Dra. Carola Hurtado y Lic. Luis Pabón del SERNAP; Dr. Timothy Killeen; Lic. María Cristina Ruiz; Dra. Hilda Rada; Patricia Palacios; Carlos Molina, y al Ing. Rolando Campuzano, quien en vida fue decano de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la UMSA, por su invalorable apoyo durante el largo proceso de elaboración de este texto.

Finalmente, agradecemos al Dr. Javier Cerdà (QEPD), por el prólogo y al Dr. Stephan Beck por sus comentarios para la contratapa.

Revisores

Dr. Stephan Beck
Director del Herbario Nacional de Bolivia
Docente e investigador de la Carrera de Biología de la
Universidad Mayor de San Andrés

Dr. Javier Cerdà S.J.
Director del Laboratorio de Biología "San Calixto"
Miembro de número de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia

Lic. Emilia García
Herbario Nacional de Bolivia
Directora de la Carrera de Biología de la
Universidad Mayor de San Andrés

Dr. Abul Kalam
Docente de las carreras de biología y agronomía de la
Universidad Mayor de San Andrés

MSc. Rosa Isela Meneses
Subdirectora del Herbario Nacional de Bolivia

Dra. Mónica Moraes (1º Edición)
Herbario Nacional de Bolivia
Docente e investigador de la Carrera de Biología de la
Universidad Mayor de San Andrés

Lic. Ana Portugal
Herbario Nacional de Bolivia

MSc. Juan Pablo Torrico
Instituto de Biología Molecular y Biotecnología
Docente e investigador de la Carrera de Biología de la
Universidad Mayor de San Andrés

Prólogo

Con las presentes letras pretendo prologar el MANUAL DE BOTÁNICA, renovado y completamente transformado con el nombre de MANUAL DE INTRODUCCIÓN A LA BOTÁNICA, de los señores **Francisco Fontúrbel**, **Darío Achá** y **Diego Mondaca**, alumnos de la Carrera de Biología, de la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz (UMSA), quienes me han pedido una dedicatoria a su nueva edición.

Quiero felicitarles porque, en el lapso de un poco más de un año, agotaron su primera edición, si bien reducida, no menos apta y eficaz para ayudar y orientar a los alumnos de la Carrera de Biología.

La Segunda Edición, sale completamente renovada y aumentada. Es ya un libro que no tiene las características de un manual, sino de un texto que llega a ayudar y colaborar a los alumnos y alumnas de los últimos cursos de Secundaria y a los destinatarios de Ciencias Biológicas, Agronomía y otras Carreras.

Resulta, a mi modo de ver, un libro fundamental para los estudiantes, de las mencionadas y otras carreras, que necesitan una mano que les ayude, en poner las bases de la Investigación Científica y los conocimientos fundamentales para el estudio. Por este motivo debiera de estar en todas las bibliotecas de los Colegios de Secundaria y de la Universidad, para unos como libro de estudio y para otros de consulta y en este sentido los estudiantes de los primeros cursos de Biología y Agronomía, en especial, lo deberían llevar siempre en la mano. Un buen libro es el mejor compañero o compañera.

Consta de nueve capítulos fundamentales de conceptos claros, que demuestran la altura que han alcanzado los mencionados autores. Como en todas las cosas humanas siempre susceptibles a perfección o mejoramiento, así como ha habido una renovación grande y fundamental en esta segunda edición, en las siguientes, como lo espero, ha de haber otra mejora grande, en especial en el último capítulo de las Técnicas de Laboratorio y Campo, que según mi parecer por razón de espacio no ha podido ser implementado como los otros capítulos, para no aumentar el volumen y hacerlo más asequible a los estudiantes.

Les he de manifestar que para publicar un libro hay que tener valor. Vaya pues, mi felicitación y estímulo. Que no decaigan sus ánimos en este trabajo, que de continuarlo les va a reportar grandes beneficios en su carrera y a nivel profesional. Siembren ahora para recoger más adelante el agradecimiento y los frutos que cosechen en otros estudiantes. Deseo que sean un ejemplo para todos.

Enhorabuena. Que Dios les bendiga, sus esfuerzos.

Amigo y antiguo profesor:

Dr. Francisco Javier Cerdà S. J. [(1)]
Director Laboratorio de Biología "San Calixto"

La Paz, Noviembre 2002

[(1)] Francisco Javier Cerdà Durà (Gerona 1922 – La Paz 2005), sacerdote jesuita, teólogo y doctor en biología. Fue fundador, promotor y director del Laboratorio de Biología "San Calixto" desde 1966, institución que gracias a su dedicación y acertada dirección se convirtió en un referente internacional de la investigación científica en Bolivia. Fue autor de numerosas publicaciones científicas, libros de textos, y ante todo, un docente que formó a muchas generaciones de biólogos. Su generosa contribución fue fundamental para la publicación de la primera edición de este texto, en 1999.

Prólogo a la primera edición

Seguramente muchos de los esfuerzos y empeños de nuestra Carrera de Biología durante los últimos años, han buscado asegurar una secuencia lógica en la enseñanza desde los elementos más básicos para consolidar una mejor formación en el área de la botánica. De hecho, la inclusión de la materia Introducción a la Botánica en el programa curricular de Biología inicia un perfil más consecuente, tanto en las áreas de especialización como de la información disponible al futuro profesional y que posteriormente se particulariza con materias troncales y electivas para satisfacer las expectativas individuales.

Bajo este proceso, se refleja un compromiso implícito para concentrar referencias y fuentes de consulta accesibles a la comunidad estudiantil, particularmente si consideramos cierta debilidad en nuestras bibliotecas y – pese al afán colectivo por actualizarnos – no siempre aseguramos reunir todo lo vigente o recientemente publicado. De tal forma, que cada grupo de estudiantes nuevos que ingresa a nuestra comunidad plantea la necesidad de contar con una orientación fundamentada, no solo en las clases teóricas y prácticas exigidas para adelantar los diferentes niveles de formación curricular.

Por otro lado, la interacción de los biólogos bolivianos en espacios que diversifican sus capacidades, ofertan también la consideración de un amplio espectro de información que no necesariamente se encuentra compilada en un solo documento. Entonces, las perspectivas para informar al futuro biólogo respecto a todos los elementos que serán clave en la secuencia de materias se hacen más complejas, pero también se enriquecen.

Para particularizar la presentación de la presente guía es importante retener el claro protagonismo que plantearon Darío, Francisco, Diego e Iván, quienes después de finalizar su primer semestre en la Carrera, manifestaron su interés por aportar en el ensamble de una guía – basada en el programa analítico de Introducción a la Botánica – para facilitar la orientación a los estudiantes que ingresan a Biología. Si bien la estructuración de esta guía se basó en este programa, hay que recalcar que fueron innumerables las oportunidades en que se tuvo que limitar su entusiasmo por integrar los capítulos con lujo de detalles y gráficos, pues el pensum de Biología y las materias del área de Botánica se encargarían de satisfacer un programa más desmenuzado y con un alcance académico lógicamente organizado para acceder a información más completa.

El desafío por desarrollar la presente guía fue asumido con especial dedicación por los cuatro estudiantes, quienes también trabajaron para el diseño del formato, la integración de gráficos y en la asignación de capítulos completos, todos sometidos a una intensa fase de seguimiento y corrección para pulir las versiones finales. Seguramente durante estos últimos meses, ellos asimilaron las divergencias en estilo y redacción de cada uno, por lo que es de especial importancia que hayan incursionado en la integración de características y personalidades para conjuncionar esta experiencia – tal vez prematura– en la preparación de esta Guía, como base fundamental para el área Botánica de nuestra Carrera.

La articulación temática de la presente guía, responde a los siguientes capítulos: El primer capítulo incluye una presentación sobre la investigación científica y la metodología científica. El segundo es un tratamiento introductorio de la botánica como ciencia, sus especialidades y ramas de interacción, así como una referencia a la botánica en Bolivia, las áreas protegidas y las formaciones de vegetación. El capítulo tercero incorpora un resumen sobre morfología y anatomía vegetal: la organización y diversidad vegetal, desde el nivel molecular, celular y de tejidos, para luego considerar niveles de diferenciación como talo, vástago y cormo. El cuarto incluye una introducción a la fisiología vegetal, enfatizando en los procesos fotosintéticos y de respiración. El quinto se refiere a la clasificación botánica, tanto conceptual como metodológica. El sexto hace referencia a la evolución vegetal y elementos básicos sobre filogenia. El séptimo concentra temas relacionados a los fundamentos biológicos, ciclos de vida y reproducción vegetal. El octavo hace referencia

al enfoque de los organismos vegetales y su ambiente, las interacciones con animales (dispersión, polinización). Finalmente, el noveno compila el componente complementario práctico y de sus técnicas con sus respectivas instrucciones para implementar los laboratorios y salidas al campo, que ha sido modificado en base al programa de Laboratorio de Introducción a la Botánica.

Cada uno de estos capítulos incluye el fundamento teórico por tema, junto a gráficos (fotos, tablas y esquemas ilustrativos), un cuestionario para facilitar la auto evaluación y las fuentes consultadas; eventualmente se añade además otra lista de referencias que son sugeridas para ampliar información.

Finalmente y para facilitar la consulta de esta guía, se presenta un índice completo de términos técnicos seleccionados.

Bajo todos los antecedentes mencionados y con la vivencia personal de haber disfrutado la labor empeñada por mis queridos estudiantes, aprovecho dedicar este prólogo a las nuevas generaciones que ingresan a nuestra carrera y a sus compromisos para adelantar etapas con evidentes criterios de madurez y responsabilidad. Esta Guía es una prueba de ello.

Mónica Moraes R., Ph. D.
Docente Investigador – Área Botánica
Carrera de Biología
Universidad Mayor de San Andrés

La Paz, Marzo 1999

Prefacio

Esta nueva edición de **Manual de Introducción a la Botánica** se comenzó a elaborar en abril de 2000 y el primer borrador se terminó en febrero de 2001, y el borrador final se terminó en noviembre de 2002. La decisión de los autores de elaborar esta segunda edición, responde a la necesidad de contar con un texto sintético, accesible y acorde a la realidad de nuestro contexto. Dicha necesidad fue cubierta –en parte– con la primera edición de este libro, que fue más un primer intento de publicación que un texto de consulta establecido, de amplio alcance. La consolidación de este proyecto enfrentó no pocos problemas al momento de buscar financiamiento para su impresión, varios fueron los ofrecimientos pero ninguno llegó a concretarse, demorando la salida oficial de este texto por 5 años, periodo en el que se realizaron revisiones y actualizaciones importantes a los contenidos. Hoy, aprovechando el avance de la informática y el impacto de Internet, ponemos este texto a disposición del público de forma gratuita.

La primera edición se publicó pensando en cubrir las necesidades de los estudiantes de la asignatura de Introducción a la Botánica, correspondiente al primer semestre de la carrera de biología de la Universidad Mayor de San Andrés, y grande fue nuestra sorpresa al saber que dicho material fue acogido por estudiantes y docentes de otras carreras universitarias en distintos departamentos del país, y también fue utilizado en varios colegios como texto de consulta, y que en algunos casos, hasta superó las fronteras del país.

Es por ello, que esta segunda edición, corregida, aumentada y renovada, pretende llegar a un amplio grupo de estudiantes de secundaria, curso pre–facultativo y primeros semestres de carreras relacionadas, directa o indirectamente. Este libro ya no pretende ser solamente una guía para una asignatura, sino que pretende ser una base introductoria a la botánica, y que pueda convertirse en un texto básico de consulta para estudiantes y docentes, en el contexto Latinoamericano.

Es así, que esperamos que en el futuro nuestro texto deje de ser usado sólo a nivel universitario, y constituya parte del conocimiento básico de bachilleres y técnicos, subiendo el nivel de preparación científica en la región. Con este objetivo, se han reformulado profundamente los capítulos 3, 4, 6, 7 y 8, los que han sido mejorados y extendidos para abarcar otras áreas de conocimiento, mientras que los capítulos 1, 2, 5 y 9 han sido ampliamente corregidos y complementados. Además se han añadido tres secciones de mucha utilidad para los estudiantes: los anexos didácticos, el diccionario de términos y el índice alfabético. Al final de cada capítulo se han añadido textos y páginas web de referencia, para que los estudiantes puedan ampliar sus conocimientos.

También se ha creado una página en Internet, con material didáctico de apoyo a los estudiantes y docentes, que les permita tener información actualizada en todo momento, así como disponer de algún software gratuito de gran utilidad.

Esperando que este material le sea de utilidad, dejamos este libro en sus manos…

Francisco E. Fontúrbel
Darío Achá C.
Diego A. Mondaca G.

Índice de materias

CAPÍTULO 1

LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

En la medida que el hombre fue desarrollando sus conocimientos y sus habilidades también mejoraban sus métodos de investigación, es decir, éstos eran cada vez mejor fundamentados y tenían un mayor margen de credibilidad. Es por ello que luego de esos avances se pudieron diferenciar, en forma general, dos tipos de conocimientos: el conocimiento común (o empírico) y el conocimiento científico. El primero es aquel que lo podemos aprender en la vida cotidiana, se caracteriza por ser predominantemente superficial, subjetivo, sensitivo, no sistemático y acrítico. Entonces podemos ya suponer las grandes diferencias que tiene este conocimiento empírico con el conocimiento científico, que se rige por conocimientos metódicos con pretensión de validez, y tiene como instrumentos generales a la reflexión y al razonamiento lógico. Este tipo de conocimiento se adquiere mediante el observar una realidad concreta, formular preguntas como consecuencia de las observaciones, proponer una hipótesis que conteste a las preguntas, comprobar experimentalmente la hipótesis o refutarla, y llegar a conclusiones que puedan hacerse extensivas (teorías) y que puedan ser usadas, a futuro, para el beneficio del hombre.

Ahora bien, el principal problema en el que se cayó fue que, si bien los investigadores realizaban sus trabajos según las reglas del conocimiento científico, éste no era uniforme, es decir que cada quien tenía su propio método, es por ello que luego de muchos años se planteó un método básico y universal, denominado **método científico**. Éste nos sirve tanto para formular como para responder a esas inquietudes, sobre "[...]qué es el enfoque sistemático de la información del universo" (Jencsen & Salisbury 1988). El empleo del método científico es lo que distingue a la ciencia de los otros tipos de conocimiento. El conocimiento científico no es definitivo y el método científico se encarga de perfeccionarlo (Zorrilla & Torres 1995).

¿QUÉ ES LA CIENCIA?

Si bien la palabra ciencia es muy común en el lenguaje formal en los ámbitos académicos, universitarios y científicos aun no se ha encontrado una definición única y universal para este concepto, ya que su propia amplitud hace que tenga diferentes acepciones según el contexto en el que se maneja. De manera general, podemos asumir como una **definición genérica** la que nos da el diccionario:

Ciencia, *Conocimiento exacto y razonado de ciertas cosas; conjunto de conocimientos sistemáticamente ordenados.*

Esta definición genérica es muy amplia y puede tener diferentes interpretaciones en función al contexto en el que se maneje, por ejemplo un científico experimental y un cientista social o un metafísico pueden basarse en este mismo concepto básico pero darle una contextualización diferente en función a su formación profesional, sus conocimientos y los paradigmas que rijan su esquema de pensamiento.

Entonces, para fines prácticos de este texto, podemos regirnos a la siguiente definición de ciencia:

Ciencia *es el conjunto de conocimientos ordenados sistemáticamente, y que son obtenidos por medio del empleo del método científico.*

Características de la ciencia

La ciencia, dentro de su diversidad de definiciones y concepciones, tiene dos características inmutables, que son las etapas de la ciencia y el producto final de la ciencia.

Las etapas de la ciencia son dos:

1) *La investigación.* Referida a todo el proceso de aplicación del método científico sobre una determinada problemática a fin de encontrarle una respuesta.
2) *La aplicación.* Es la fase en la que le damos una utilidad a lo obtenido en la investigación, constituye la parte activa de la respuesta a la problemática.

El producto final de la ciencia, sea cual sea su concepción, es el **conocimiento**.

Importancia de la definición de ciencia

La definición genérica de ciencia y sus demás acepciones son importantes por:

- Porque nos delimita lo que es y lo que no es conocimiento científico.
- Porque establece el carácter de la información científica y no científica en función al tipo, los alcances, la fiabilidad, la confiabilidad, la significancia y la relevancia que cada una pueda tener.
- Porque nos define el papel del investigador dentro del ámbito académico y científico, y también dentro de la sociedad en su conjunto.
- Porque en base a esta definición se delinean estrategias de educación e investigación.

La investigación

Ya sabemos que la ciencia tiene como producto final el conocimiento, pero ¿cómo generamos este conocimiento?. La forma de generar conocimiento científico es por medio de la investigación.

De la misma forma que con la ciencia, la investigación tiene tantas concepciones como corrientes de pensamiento hay. Sin embargo, vamos a adoptar la siguiente definición básica que nos da el diccionario:

Investigación, *acto o efecto de investigar; hacer diligencias para descubrir una cosa; indagar; registrar.*

La investigación es parte del instinto más primitivo del ser humano: la curiosidad.

Quizás un bebé es uno de los mejores ejemplos prácticos sobre lo que es la investigación científica, ya que los bebés descubren su entorno por medio de la investigación, ellos miran, tocan, huelen y prueban todo lo que los rodea y de esa manera adquieren conocimiento, aunque en este caso es, como se mencionó anteriormente, **conocimiento empírico** porque no es obtenido mediante la aplicación del **método científico**.

Como se puede deducir del párrafo anterior, la investigación es un concepto bastante amplio, y no se restringe, por ende, a un laboratorio o a una biblioteca, ya que trasciende el ámbito científico y académico, y de una u otra manera forma parte de nuestra vida cotidiana.

Origen del pensamiento científico formal y la investigación científica

Como casi todos los aspectos de la ciencia y el conocimiento occidental, las ciencias y la investigación ligada a ellas comenzó formalmente en la antigua Grecia, con grandes pensadores como Aristóteles, Platón o Teofrasto y muchos otros "padres" de las ciencias, que simplemente fueron los primeros en sistematizar la información bajo un orden discrecional definido (aunque diferente en muchos aspectos al que manejamos hoy en día) y la escribieron en textos que conservaron estos pensamientos y estos conocimientos para las futuras generaciones de pensadores. Hoy en día, los pocos documentos de esa época que aun se conservan son atesorados como verdaderas obras maestras del pensamiento antiguo.

Sin embargo, los griegos no fueron los únicos ni los primeros en desarrollar ciencia, investigación y conocimiento científico. En el oriente, los hindúes comenzaron esta tarea varios miles de años antes que los griegos, ellos poseían un legajo muy rico de conocimientos sobre la vida, la naturaleza y el hombre, que hasta el día de hoy se pueden apreciar en los **vedas**, que son documentos fundamentales para el pensamiento hinduista. En la antigua China y en el Japón también se desarrollaron grandes cantidades de información, parte de ella fue escrita, la otra se transmitió oralmente. El legajo de conocimientos de oriente no fue considerado como el origen formal de las ciencias, porque la integración oriente–occidente se dio después de la aparición de los grandes pensadores griegos.

Pero no fueron los orientales los únicos marginados del origen formal, en occidente también existieron importantes avances en las culturas de América Central y América del Sur, cuna de florecimientos humanos sin precedentes como los mayas, los aztecas, los tiwanacotas, los quechuas o los aymaras. Y basta dar una mirada a la **cosmovisión andina** para darnos cuenta que ellos tenían un conocimiento científico muy profundo de su medio y de muchas otras cosas que trascienden la razón, la percepción sensorial y los paradigmas tradicionales. Nuestras culturas ancestrales

también tuvieron grandes pensadores anónimos que generaron una forma de ver el mundo sumamente particular, en la que la tierra es la madre (*Pachamama*) y los seres humanos somos los hijos, siendo que el sentimiento de gratitud y veneración que se genera hacia la naturaleza les permitió vivir en armonía con su medio ambiente.

La cultura de América Latina es muy rica, y posiblemente es más antigua que los grandes pensadores griegos, su "desventaja" en el mundo occidental fue no haber plasmado todos estos conocimientos por escrito, ya que estas culturas se basaron fundamentalmente en la transmisión oral del conocimiento.

Ya vimos que el origen del pensamiento científico y la investigación es mas bien multicéntrico y que no se restringe a la antigua Grecia. Sin embargo, de forma general, se pueden reconocer seis etapas fundamentales en la "evolución" del pensamiento científico:

1) *Etapa no formal.* La etapa no formal del conocimiento científico y la investigación se desarrolló durante la prehistoria y el inicio de las civilizaciones primitivas, donde la mayoría de los hombres eran nómadas y vivían una existencia "al día", una existencia *sui generis*, basada fundamentalmente en el conocimiento **empírico**.
2) *Etapa formal.* Como ya vimos anteriormente, se define históricamente el comienzo formal del pensamiento científico en la antigua Grecia.
3) *La edad media.* Quizás la edad media fue el estancamiento más grande de la ciencia y la investigación, que quedaron coartadas durante el periodo de dominio de la inquisición católica, puesto que estas prácticas eran consideradas como brujerías y quienes las practicaban (o sea, los científicos) recibían grandes castigos que muchas veces, implicaban la muerte. En la edad media el poco avance de la ciencia se debió al secreto y muy bien disimulado trabajo de algunos religiosos como Alberto Magno.
4) *El renacimiento.* Durante el nacimiento la ciencia tuvo un gran empuje luego que desapareció la inquisición, grandes personalidades como Leonardo Da Vinci caracterizaron esta próspera época.
5) *La edad moderna.* Con el empuje del renacimiento, la edad moderna fue una época de pleno avance de la ciencia.
6) *Nuestros días.* La ciencia contemporánea ha avanzado vertiginosamente gracias al desarrollo de la investigación científica y al paradigma productivo. Se estima que el avance científico de los últimos diez años fue superior al de los anteriores cien años.

Ciencia básica y ciencia aplicada

La ciencia tiene como objetivo principal el generar conocimiento, y éste conocimiento se puede utilizar para mejorar las condiciones de vida del ser humano. En este punto realizamos una distinción clave, pero a la vez polémica en muchos ámbitos: la contraposición de ciencia básica y ciencia aplicada. Las ciencias básicas o también llamadas ciencias fundamentales buscan explicar la esencia de una realidad, describirla y conocerla a fondo para explicar sus causas inmediatas y sus causas últimas, en este caso, el fin de la ciencia básica es ampliar la frontera de nuestro conocimiento. La ciencia aplicada, en cambio, busca dar al conocimiento generado una aplicación en la vida diaria que coadyuve a mejorar la calidad de vida del ser humano por medio del mejoramiento de los productos, servicios o procesos. Ahora bien, la discusión en este sentido es b bastante confusa, a partir de la pregunta clave: ¿Hacemos ciencia básica o ciencia aplicada?, y de ahí se derivan debates bizantinos sobre si es necesaria la ciencia básica, especialmente en países en vías de desarrollo, como lo son la mayor parte de los que componen el continente Sudamericano, muchos plantean que en este tipo de realidades únicamente se debería hacer ciencia aplicada y no "malgastar" dinero en ciencia básica. Pero pensemos en lo siguiente… en realidad ciencia básica y ciencia aplicada son un binomio indivisible, ya que no puede existir una sin la otra: no puede haber ciencia aplicada sin el conocimiento generado por la ciencia básica, y la ciencia básica encuentra su motivación de conocer más por las limitaciones que experimenta la ciencia aplicada. En resumen, ambas ciencias son necesarias para realizar investigación, de cualquier tipo. El factor más importante en la aplicación del método científico, y más aún en el uso que se le da a los resultados obtenidos, es definitivamente el ser humano.

Ciencia y sociedad

Muchas veces parece que la ciencia es un elemento aislado del aspecto social por la concepción "clásica" que se tiene de los científicos, muchas veces concebidos por las personas como ermitaños aislados del mundo exterior (*sensu* Richard 2003b)

Sin embargo, esta situación es falsa, ya que la ciencia es y siempre fue parte la sociedad, puesto que se constituye en un factor fundamental para el desarrollo de la misma. De hecho, la relación entre ciencia y sociedad es muy estrecha, ya que la primera permite a la segunda conocer las potencialidades y amenazas de su medio, dándole una ventaja competitiva sobre el resto, ya que en el mundo moderno la información es poder.

La ciencia en la sociedad permite y facilita la generación de tecnología apropiada y mejora la calidad de vida de las personas porque nos hace más independientes de la tecnología y los conocimientos foráneos, que muchas veces no se aplican a la propia realidad.

El conocimiento científico tiene un ciclo muy importante en la sociedad, el que será explicado con más detalle a continuación.

<u>El flujo del conocimiento científico a la sociedad</u>

El conocimiento científico fluye en la sociedad en cuatro etapas fundamentales:

1) *La investigación científica.* El proceso mismo de la generación de la información por medio de la aplicación del método científico.
2) *El conocimiento científico.* Resultado del trabajo de los investigadores. Para ingresar a la sociedad, el conocimiento científico debe ser divulgado, por medio de la publicación.
3) *La generación de tecnología.* Una vez que el conocimiento científico se ha obtenido, este debe aplicarse (recuerde las dos etapas de la ciencia), y la aplicación de estos conocimientos se suele traducir en la producción de nuevas tecnologías.
4) *El paso a la sociedad.* La introducción de la tecnología en la sociedad representa la mejora de la calidad de vida.

Estas cuatro etapas no son lineares, mas bien son cíclicas ya que existe un efecto multiplicador y de retroalimentación positiva.

<u>El nuevo paradigma de la ciencia en la sociedad</u>

Bajo la visión de este paradigma, la ciencia y la investigación científica son parte fundamental e integral de la sociedad, pasando los conocimientos y la información generada a los diferentes niveles de la misma, propiciando la generación de nuevas tecnologías y el consiguiente aumento en la calidad de vida.

De este modo, las sociedades que más producción científica tienen serán las que tengan un mayor desarrollo tecnológico y una mayor independencia de gestión en lo económico y en lo social.

La filosofía bernaliana (corriente filosófica de John D. Bernal) es la que plantea que el científico tiene un rol más allá del mero papel intelectual, puesto que tiene un papel social y político muy importante en la misma, y es la base del paradigma productivo.

Lamentablemente este paradigma aun es una falacia en muchos países de América Latina, y en especial en Bolivia, donde el trinomio **I+D+I** (investigación + desarrollo + innovación) están restringidos a grupos muy pequeños de visionarios vocacionales que le dedican su tiempo a este tema, normalmente lejos de la luz pública y a título de sacrificio personal, ya que en Bolivia y en los demás países donde se da esta situación, los investigadores suelen ser mal pagados y su trabajo, consiguientemente, poco valorado.

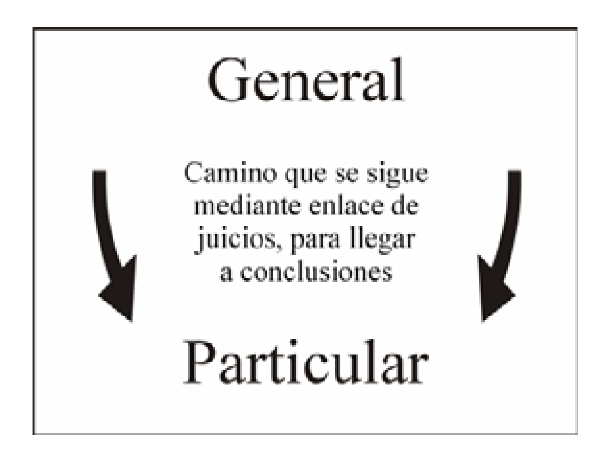
CONTEXTOS DE LA CIENCIA Y LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

La investigación científica se maneja de manera general en 8 contextos fundamentales: la inducción, la deducción, la abducción, la analogía, la construcción, la intuición, la casualidad y el contraste (de acuerdo con Richard 2003a)

La deducción

Del Latín *deductio*, que significa sacar o separar. La deducción se caracteriza por **ir de lo general a lo particular**, en base a datos generales aceptados como válidos, por medio de un razonamiento lógico, pueden

deducirse varias suposiciones de las distintas realidades particulares que de éstas pueden derivar. La deducción es el enlace de juicios que levan a la inferencia. Una inferencia o razonamiento es el resultado de la combinación de dos o más juicios. (Cuadro 1–1). El método deductivo va de lo general a lo particular, es decir que extrapola el comportamiento "estándar" a los casos particulares. Se dice que Einstein habría elaborado la teoría de la relatividad por medio de un razonamiento deductivo.



La inducción

Del Latín *inductio*, que quiere decir conducir, introducir, llevar a. En este caso, al contrario del expuesto anteriormente, **se va de lo particular a lo general**. Una de las características principales de la inducción es que obliga al investigador a ponerse en contacto directo con la realidad. El investigador debe acumular observaciones y experimentaciones con relación al asunto en estudio hasta llegar a descubrir cuales son las razones, leyes o principios que gobiernan los procesos naturales. Este método es preferentemente aplicable en el caso que se estudien objetos relativamente pequeños, por que hay la posibilidad que se estudie cada uno de ellos. El postulado esencial nos dice que el investigador debe estar sin nociones preconcebidas o hipótesis previas. En la actualidad se trata de eliminar éste método, ya que se lo considera una falacia, ya que –según algunos autores– aplicando éste método no se puede llegar a conclusiones totalmente certificadas. (Cuadro 1–2). Gay–Loussac obtuvo la segunda ley de los gases por medio del método inductivo.



La abducción o retroducción

El término abducción, propuesto por Peirce, se refiere al proceso de razonamiento en el que se obtiene algún conocimiento a partir de un **hecho curioso o fortuito**, inesperado o inexplicable, que pasa a una conjetura o hipótesis que lo explique, hipótesis que posteriormente deberá ser contrastada. Peirce opina que este método de descubrimiento es propio de los revolucionarios, y propuso el término en base a los métodos de inducción y deducción, de Aristóteles.

Ahora bien, Kneller propone mas bien el término retroducción para definir el proceso por el cual el científico encuentra una anomalía y propone diversas hipótesis para tratar de explicarlo. Este es básicamente el mismo proceso explicado por Peirce con el nombre de abducción. Un ejemplo de este caso es el modelo geométrico de las órbitas de Marte planteado por Kepler.

La analogía

La analogía es una forma de razonamiento mediante la cual se **va de un caso particular a otro sin relación aparente**, y usualmente se practica entre áreas del conocimiento sin una vinculación evidente, su empleo es usual en las ciencias históricas y ocasionalmente en las ciencias biológicas. Darwin usó la analogía al explicar la selección natural y la supervivencia del más apto al compararla con la teoría del crecimiento poblacional de Malthus. En biología la analogía también es usada para explicar la funcionalidad de ciertas adaptaciones, como por ejemplo las alas de una mosca y de un ave, que son de un origen ontogénico muy diferente, pero cumplen la misma función.

La construcción

El método de la construcción se basa en la conjetura de tres elementos: los datos, el respeto por las reglas y las hipótesis filosóficas básicas (como ser el realismo, el determinismo ontológico y epistemológico y el formalismo).

La intuición

La intuición se identifica en este contexto como el conocimiento directo. En el sentido de Mario Bunge (1987), también se conoce como **inferencia catalítica**, es decir el paso directo y rápido de una proposición a otra. De este modo, la intuición es lo contrario a una inferencia como sería la prueba formal de validez de la lógica. De todas maneras, de acuerdo con Bunge, queda claro que la aprehensión de un concepto en forma directa depende de la capacidad y grado de información del sujeto. Muy posiblemente se toma como intuición a un proceso más prolongado y complejo, que involucra varios pasos que no son evidentes o se realizan de manera inconsciente o subconsciente.

La casualidad o azar

Es un procedimiento muy discutido, e incluso rechazado por algunos autores, ya que se basa en fenómenos estocásticos y aleatorios ocasionales, y no en la observación sistemática y ordenada de fenómenos.

La casualidad se suele rechazar de la investigación científica, ya que el conocimiento científico se basa en la relación causa–efecto.

El contraste

El contraste consiste en la oposición de una hipótesis contra otra.

Pasos del Método Científico

El método científico es la base del conocimiento científico, ya que éste es un conjunto de pasos sistemáticos, ordenados y coherentes que nos permite generar la información científica necesaria.

De la misma manera que la ciencia estudia los problemas para encontrar soluciones, el método científico también se constituye en un problema, aunque un poco más filosófico, en el entendido que cabe preguntarse si es necesario contar con un **método** para hacer ciencia, cuestionarse también se este método es único y universal o pueden existir otros métodos, y si éste es único y determinante. De igual manera que como sucede con los conceptos de ciencia e investigación, pueden haber tantas respuestas diferentes a estas interrogantes como personas hay para responderlas.

Para tratar de responder –al menos parcialmente– los cuestionamientos anteriores, es necesario distinguir método y metodología. Un método es el conjunto ordenado de **normas** que debemos seguir en un determinado procedimiento, mientras que la **metodología** es el estudio de estas normas y su aplicación. Popper (1967) considera como método científico a las **reglas del juego** de la ciencia, diferenciando las reglas lógicas de las **reglas metodológicas**, siendo las últimas esenciales para la ciencia, ya que ésta se caracteriza por la metodología que sigue y no por el marco lógico en el que se desenvuelve.

Antes del método científico como lo conocemos hoy en día hubo varios otros "intentos" de sistematizar y normar el accionar de la ciencia, métodos tan antiguos como el propio Aristóteles o Platón con su método dialéctico fueron sucedidos vez tras vez por métodos nuevos y más novedosos, hasta llegar al origen mismo del método científico que hoy conocemos, en el siglo XVII con Francis Bacon. Los enunciados de Bacon se fueron modificando más en forma que en fondo a lo largo de los años formando nuevas concepciones de lo que es método científico e investigación científica.

I ¿Qué deberá observarse?	II ¿Cómo se pueden resumir estas observaciones?
III ¿Qué procedimientos se utilizan para poder lograr la exactitud en las observaciones?	IV ¿Qué relación deberá existir entre el observador y lo observado?

Quizás el exponente contemporáneo más importante en este aspecto es Mario Bunge.

Para poder llevar a cabo una investigación aplicando el Método Científico se siguen los siguientes pasos (en el Cuadro 1–3 se muestra un resumen esquemático):

Observación de la realidad

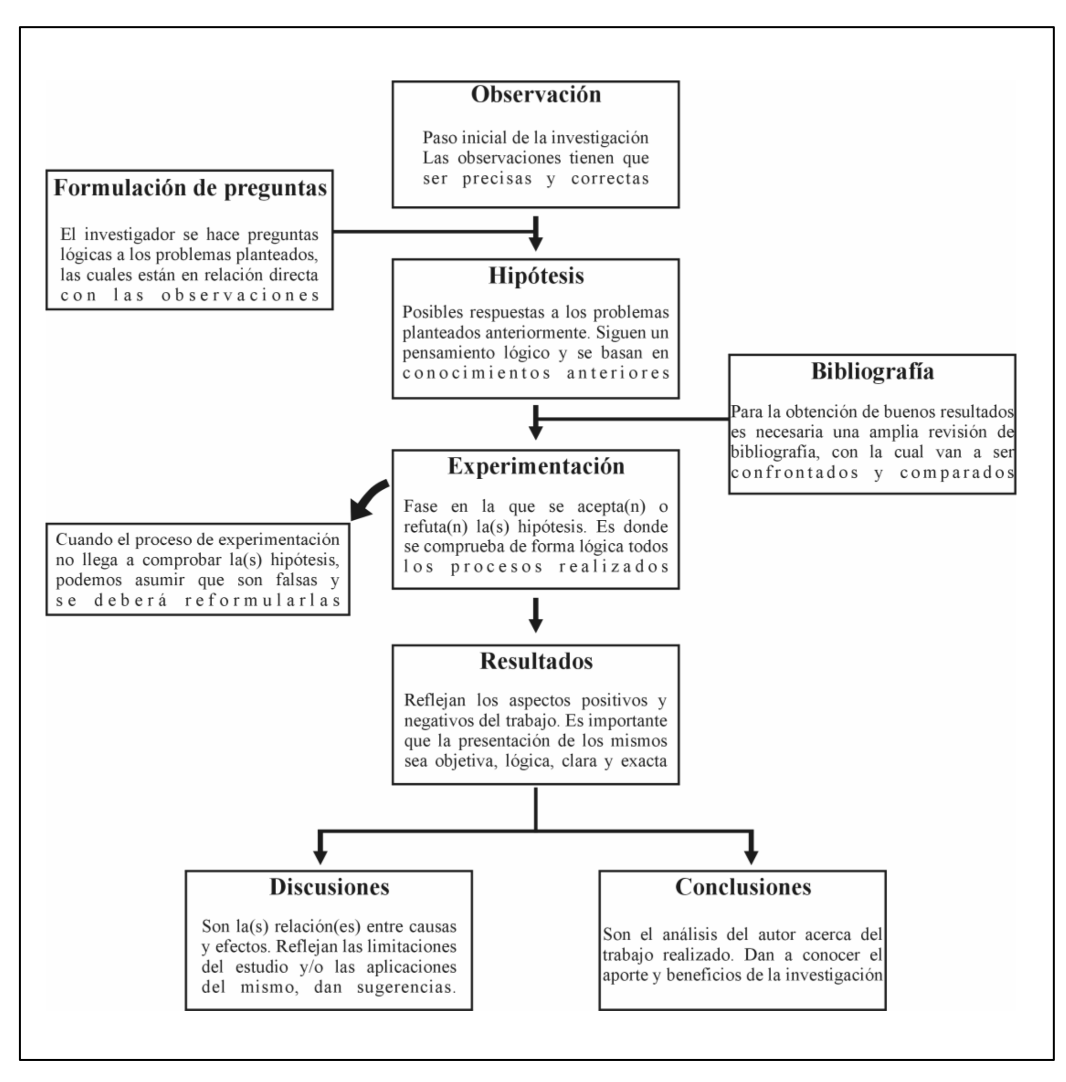
Esta se la realiza principalmente con los sentidos, aunque generalmente es necesaria la ayuda de instrumentos científicos que nos permitan obtener una mayor **precisión.**

Este proceso de observación es el que nos permite descubrir y al mismo tiempo poner en evidencia las condiciones de los fenómenos del objeto estudiado. Ya sabemos que para la ciencia es indispensable la observación, y si hay algo que no se puede observar o cuya observación no puede repetirse, es algo que no cae bajo la jurisdicción de la ciencia.

Para realizar investigación debemos tener la capacidad de hacer observaciones que, en lo posible, sean siempre adecuadas y objetivas (al menos, lo más objetivamente posible). El observador requiere que las percepciones no estén afectadas por prejuicios de ninguna naturaleza, ni sufra sesgos, ni desviaciones voluntarias, accidentales o subconscientes.

Preguntas para realizar las hipótesis: el proceso de investigación tiene que responder al propósito mismo de la observación, formulando preguntas (véase el Cuadro 1–4).

Luego de la formulación de las preguntas se buscan respuestas lógicas, las cuales deben estar relacionadas con las observaciones anteriores. Este tipo de respuestas lógicas y fundamentadas en los principios científicos se las denomina *"hipótesis"*.



Hipótesis

Se refiere a las posibles respuestas que se dan a los problemas planteados anteriormente, siguiendo un pensamiento lógico y apoyándose en los conocimientos científicos adquiridos previamente. La respuesta tentativa a un problema propuesto se la denomina *hipótesis.*

La hipótesis constituye una herramienta que ayuda a ordenar, estructurar y sistematizar el conocimiento mediante una proposición. La hipótesis implica una serie de conceptos y **juicios** tomados de la realidad estudiada, que nos llevan a la esencia del conocimiento.

Ya que la prioridad es la comprobación de la hipótesis, ésta debe ir relacionada con algunas formas en que se podría comprobar la hipótesis misma, a éste proceso se lo denomina **experimentación.**

Experimentación

Es uno de los procesos más importantes del método científico, puntos como la observación, preguntas e hipótesis pueden ser planteadas de una forma deductiva, pero cuando ya entramos a la parte de la experimentación todo debe ser comprobado de cualquier forma lógica posible. La parte de la experimentación nos puede conducir a la comprobación que un fenómeno se presenta siempre de la misma manera bajo las mismas condiciones.

En esta parte experimental se puede aceptar o rechazar una hipótesis, si la hipótesis es favorable también nos indica si es posible generalizarla.

Resultados

Este es otro punto de especial importancia, en este se reflejan los aspectos tanto positivos como negativos que conlleven importancia en el trabajo y además que se hayan realizado de forma correcta.

La presentación de estos resultados debe realizarse (de preferencia) de forma cronológica, distribuidos correctamente con subtítulos para una mayor comprensión. Esta presentación puede ser tanto en texto como en forma de gráficas o tablas, las cuales pueden sustituir perfectamente a las largas y tediosas explicaciones en texto (una buena tabla o figura pueden ahorrar mucho texto), es conveniente también, tanto para el autor como para en lector, la presentación de los resultados en varias tablas pequeñas y no así una que sea muy extensa y compleja. La implementación de figuras tiene la finalidad de hacer más comprensible el informe o trabajo científico, además de economizar espacio en texto. Las figuras en un artículo científico no son un adorno, como podrían serlo en artículos de tipo popular.

"En conclusión, la presentación de los resultados debe ser objetiva, exacta, lógica y clara. Pero hay que recordar que a menos que el experimento haya sido bien diseñado, los datos tomados en forma oportuna, exacta y completa, y el análisis estadístico de los mismos haya sido apropiado, mal puede sacar el lector conclusiones objetivas, exactas, lógicas y claras de la presentación de los resultados. Muchas veces la confusión está en el experimento y no en el artículo" (Molestina et al. 1988).

Discusiones

Esta parte, a diferencia de las demás, es donde se puede apreciar el grado de madurez intelectual y preparación del investigador, aquí se relacionan los datos experimentales y así se llega a conclusiones válidas con las hipótesis planteadas y aprobadas previamente.

En resumen la discusión debe: (según Molestina et al. 1988).

a) Establecer relaciones entre causas y efectos.
b) Deducir las generalizaciones y principios básicos que tengan comprobación en los hechos experimentales.
c) Aclarar las excepciones, modificaciones o contradicciones de las hipótesis, teorías y principios directamente relacionados con los hechos estudiados.
d) Señalar las aplicaciones práctica o teóricas de los resultados obtenidos, con clara indicación de los límites impuestos.
e) Comparar los resultados obtenidos con estudios anteriores similares o experiencias previas en el área.

Conclusiones

Tenemos que poner en claro que las conclusiones no son un resumen ni tampoco recomendaciones*,* son los

juicios emitidos por el investigador sobre la base de la síntesis de los resultados. Esto amerita la expresión más clara y concreta posible de los resultados, confirmando que la hipótesis es verdadera.

Estas conclusiones deberán reflejar los alcances y limitaciones del estudio (de acuerdo con Zorrilla & Torres 1995). En esta parte es donde el trabajo científico adquiere claridad, además de indicar en forma lógica y concisa los hechos nuevos del descubrimiento, es decir, su aporte nuevo a la ciencia. Estas conclusiones deben ser un aporte original que debe salir del análisis del autor, de lo contrario se perdió el tiempo en la elaboración del trabajo.

Las conclusiones debe basarse en los hechos comprobados, estos pueden ir ordenados de manera que sean de mayor comprensión.

Literatura Citada

Un trabajo científico que no refleje las fuentes de consulta (bibliografía) es susceptible a duda, es decir, que se desconoce si es que el autor conoce de literatura o si es que éste quiere dar la impresión que todo lo que dice es original y nuevo. Además un trabajo sin bibliografía carece de sustento científico y no puede ser considerado como información seria, y menos aun, confiable.

La bibliografía es el sustento para el contenido de nuestro trabajo, ya que es usada tanto para comprobar algo dicho o añadir otros conocimientos. Las citas bibliográficas varían mucho en cada libro, pero domina el método de poner solamente la literatura citada y ordenarla en forma alfabética. A continuación presentamos algunas de las reglas para las citas bibliográficas:

a) Se exige un método uniforme para todos los artículos y la bibliografía verifica las citas y las arregla para conformarlas en formas establecidas.
b) Van arregladas en orden alfabético de autores.
c) No se usan abreviaturas de títulos de revistas de libros, etc.

Se tiene que tener mucho cuidado en poner de forma correcta las citas bibliográficas, no se tiene que abreviar la cita de un libro por el sólo motivo de ahorrar espacio.

Todavía no se tienen normas generales para la puesta de las citas bibliográficas, es decir que hay una infinidad de métodos, de los cuales la mayoría son incorrectos ya que simplifican y hasta pareciera que quisieran sacrificar la identidad del autor en aras de la economía de espacio.

Algunas consideraciones sobre las hipótesis y los resultados

Las hipótesis son una parte muy importante del método científico, y su adecuado manejo puede y debe repercutir positivamente en el desarrollo de la investigación y en la calidad de los resultados a ser obtenidos.

Las hipótesis se pueden dividir en tres grandes grupos:

a) Hipótesis empíricas
b) Hipótesis vulgares
c) Hipótesis científicas

A su vez, las hipótesis científicas se pueden dividir en dos:

- Hipótesis científicas de bajo nivel u observables
- Hipótesis científicas abstractas o no observables

Las hipótesis de bajo sin nivel son aquellas consideradas como observables, es decir, que los resultados que se espera obtener serán perceptibles a través de los sentidos, en otras palabras, resultados palpables. Mientras tanto, las hipótesis científicas abstractas se basan en la obtención de resultados no perceptibles por medio de los sentidos.

La adecuada formulación de las hipótesis nos facilitará a obtención de los resultados. Los resultados científicos son susceptibles a ser analizados estadísticamente y en base a criterios definidos de comparación (pruebas paramétricas y no paramétricas) no se deja lugar a dudas.

Algo importante que no se debe perder de vista es que no existen resultados “buenos” o “malos” y que el cero también es un resultado. Siempre y cuando los resultados hayan sido obtenidos por medio de la correcta aplicación del método científico son válidos, aunque no reflejen precisamente lo que estábamos esperando que suceda. Tampoco se debe perder de

vista que los resultados que obtengamos deben responder a la problemática de manera puntual y concreta.

APLICACIÓN DEL MÉTODO CIENTÍFICO

Para la aplicación del método científico es necesario seguir los siguientes pasos:

La enunciación del problema que queremos resolver.
Buscar la literatura que nos ayudara a encontrar la solución a nuestro problema.

Nuestro aporte investigativo, el cual pretende probar la hipótesis que se planteó al inicio del trabajo.

Presentación de un informe en el que se comunica el éxito o fracaso de nuestra hipótesis planteada.

El problema, recordemos, puede ser enunciado de la mente del investigador, pero el proceso ya se complica cuando se entra en la parte de la observación y experimentación ya que es cuando el hombre entra en contacto con los materiales, el mundo físico para su experimento, y es por ello que siempre en esta parte existirá un factor de error, el cual no podemos evitar, pero si disminuir.

Debido a que el hombre no puede percibir una realidad del problema es que se ve en la necesidad de **postular modelos** de los fenómenos naturales de acuerdo con la información que recibe de sus cinco sentidos. El objeto de la postulación de modelos es el de poder predecir el comportamiento de los fenómenos, y así poder **entenderlos** con un sentido científico.

De manera general los pasos para la aplicación del método científico son:

1) **Postular** un modelo basado en las observaciones o medidas.
2) Confrontar las predicciones basadas en éste modelo con observaciones experimentales y mediadas hechas *a posteriori*.
3) Adaptar o remplazar el modelo de acuerdo con la información obtenida por medio de las observaciones y medidas hechas *a posteriori*.

Una de las grandes cualidades del método científico es la de poder dejar siempre la posibilidad de la modificación de las teorías hechas a la luz de los nuevos descubrimientos.

Uno se preguntará ¿dónde entra la estadística en el método científico?. En el caso de las ciencias biológicas y con mayor razón en las sociales, no podemos tener una certeza absoluta del comportamiento de un fenómeno. En genética por ejemplo, decimos que el 95% de los casos estudiados se observó que el carácter rugoso de las arvejas daba una segregación de 3 a 1, por lo cual se puede inferir que se trata de un carácter simple mendeliano.

Esta no es una absoluta certeza, sin embargo, la estadística nos ayuda a acercarnos a la verdad, o mejor dicho, nos proporciona una medida de cuán cerca de la verdad nos encontramos, basándose en la ley de las probabilidades. (Molestina et al. 1988).

Esto quiere decir que las estadísticas nos ayudan a saber cuan cerca de la hipótesis verdadera nos encontramos. Ya sabemos que el hombre no puede llegar a la verdad absoluta por cuestiones inherentes a la naturaleza humana del mismo, es por ello que recurrimos a métodos que nos ayuden a acercarnos a la verdad, y uno de ellos es la **estadística.**

LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES Y LAS CIENCIAS SOCIALES

El debate entre las diferencias y similitudes entre las ciencias experimentales y las ciencias sociales parece ser una historia sin fin, al igual que las peleas entre los partidarios de una y otra.

Las ciencias experimentales

Se conocen como ciencias experimentales a aquellas que utilizan y se rigen de forma estricta a la aplicación del método científico. Entre estas ciencias están, por ejemplo, la química, la matemática, la física, la biología, la electrónica, la geología, la medicina, la bioquímica y un largo etcétera.

Las ciencias experimentales se dividen en dos grupos principales:

- Las ciencias **formales**, que son las que no se basan en la experiencia sensible, y

- Las ciencias **fácticas**, que se basan en la experiencia sensible.

La ciencia formal por excelencia es la matemática. La mayor parte de las demás ciencias experimentales son ciencias fácticas.

Según Bunge (1967), las ciencias fácticas tienen 15 características fundamentales, que son:

1) El conocimiento es fáctico, es decir, se basa en la experiencia sensible.
2) El conocimiento científico trasciende los hechos.
3) La ciencia es analítica.
4) La investigación científica es especializada.
5) El conocimiento científico es preciso y claro.
6) El conocimiento científico es comunicable.
7) El conocimiento científico es contrastable.
8) La investigación científica es metódica, es decir que es planificada, no al azar.
9) El conocimiento científico es sistemático.
10) El conocimiento científico es general.
11) El conocimiento científico es legal, porque responde a las leyes de la naturaleza.
12) La ciencia es explicativa.
13) El conocimiento científico es predictivo.
14) La ciencia es abierta.
15) La ciencia es útil.

Las ciencias sociales

Son aquellas que tienen como objeto de estudio al ser humano como individuo y como parte de una sociedad, cultura o grupo humano, en el sentido más amplio del concepto. Las ciencias sociales pueden emplear el método científico, pero no como una condición obligatoria como lo hacen las ciencias experimentales, ya que también pueden recurrir a otro tipo de técnicas y métodos de investigación, que usualmente resultan más subjetivos. Entre estas ciencias están, por ejemplo, la antropología, la sociología, etc.

De los hechos a la ambigüedad

La principal diferencia entre los dos tipos de ciencia que vimos, es que las ciencias experimentales se basan en hechos concretos, demostrables, repetibles y comprobables a través de la matemática y la estadística.

Las ciencias sociales, en cambio, poseen un componente de subjetividad muy fuerte debido al empleo de métodos cualitativos subjetivos, que dejan margen a la especulación y una diversidad de interpretaciones sobre los resultados.

Algunas ciencias como la antropología y la psicología se encuentran en una especie de limbo en esta discusión, ya que ambas emplean componentes de ciencias experimentales y sociales, y muchas veces la parte más difícil es transversalizar ambas en un conjunto coherente.

La psicología, por ejemplo, puede ejercer como ciencia experimental al momento de estudiar la fisiología del cerebro y del cuerpo humano para explicar en términos anatómicos, bioquímicos y/o fisiológicos los problemas de salud del paciente. Pero cuando entra a la parte psíquica de la persona ejerce como ciencia social, ya que la interpretación de los trastornos del paciente dependerá del psicólogo y de la persona examinada, ya que cada persona es diferente en su manera de ver e interpretar los hechos.

RECOLECCIÓN DE MATERIAL PARA LA PREPARACIÓN DEL INFORME CIENTÍFICO

Generalmente el autor de un trabajo científico tiene una base de conocimientos acerca del tema que va a desarrollar, pero sin embargo normalmente se necesitan hacer investigaciones adicionales o recabar mayor información. El investigador debe descubrir lo que ha sido publicado sobre su tema; llenar las lagunas de sus conocimientos; verificar su trabajo con el de otros; conocer las relaciones que tiene su trabajo con los de otros.

Las fuentes principales para la recopilación de éste tipo de información se tienen: la biblioteca, el laboratorio, el campo y la comunicación personal.

Biblioteca

El primer paso para realizar un trabajo consiste en revisar la literatura concerniente al tema (Fig. 1–1), y para esto tenemos:

Obras de referencia Las obras de referencia nos ayudan a encontrar información específica, un dato cualquiera o una información general sobre el tema escogido. Este tipo de información se encuentra en la mayoría de las bibliotecas separada en una sección



Fig. 1–1: La biblioteca es una fuente de información muy importante. En las bibliotecas especializadas, además de libros se suelen encontrar diversas revistas científicas de temas específicos.

aparte. Tenemos varias clases de obras de referencia como ser: (a) Enciclopedias; (b) Diccionarios; (c) Manuales bibliográficos; (d) Anuarios; (e) Atlas y diccionarios geográficos; (f) Diccionarios y guías; (g) Almanaques y manuales estadísticos; (h) Publicaciones periódicas (journals); (i) Revistas de literatura.

Libros. El autor debe saber en primer lugar cuales son los libros especializados que existen sobre su tema, estos son diferentes de las referencias bibliográficas anteriores. Estos libros se encuentran en los catálogos de fichas de la biblioteca, donde cada uno esta indicado por autor, título y otros datos bibliográficos, generalmente organizados por autores, títulos o materias en forma alfabética.

Publicaciones periódicas. Para la redacción técnica es muy importante el contar con la información más reciente que sea posible, es por ello que las publicaciones periódicas son importantes ya que contienen ese tipo de información, estas pueden ser revistas (journals), boletines, circulares, anales de instrucciones científicas y otras publicaciones emitidas en lapsos de tiempo regulares.

Folletos. En el caso de que las publicaciones como boletines y circulares no salgan en forma periódica se los llama folletos. Este tipo de información proviene generalmente de centros de investigación, y departamentos de extensión. La mayoría de estos salen en series numeradas, pero también se los publica sueltos.

Otras fuentes. Este tipo de información tiene una corta circulación y es por ello que no se los puede publicar en imprentas u otros medios que los puedan hacer permanentes en el mercado. Estas fuentes pueden ser: proyectos, informes de viajes, informes de conferencias, informes de reunión de la institución y documentos de trabajo.

Anotaciones

Es conveniente que durante el proceso de investigación se vaya elaborando un cuaderno de notas para ahí poder escribir todas las ideas o datos que sean de importancia. Esto se aplica tanto en las lecturas hechas en biblioteca como en las observaciones de campo y laboratorio.

Notas bibliográficas. Los datos bibliográficos se los puede escribir junto con los apuntes o compendios, pero es mucho mejor hacer una tarjeta por cada libro o

artículo que se plantea ver o usar. Para elaborar estas tarjetas primero se escribe el nombre del autor, título del trabajo, los datos de publicación y el número de catálogo de la biblioteca. El tamaño de las tarjetas más usadas es de 7.5 X 12.5 cm.

Apuntes. Los apuntes realizados en el transcurso del trabajo, especialmente las de laboratorio y campo son importantes por que así se puede llevar un control metódico del trabajo. Estos pueden ir ordenados en secuencia lógica dentro de cada grupo. De esta manera es muy fácil acceder a la información en el momento que se escribe el borrador del trabajo.

Documentación. Para al elaboración del escrito se tomaron algunas ideas y resultados de otros autores, los cuales deben ser reconocidos. Para esto hay muchas formas de hacer las citas, las que mencionaremos más adelante. Básicamente se debe de tener los siguientes principios: (1) una cita aceptable debe dar el autor, el título y los datos de publicación (lugar, nombre de la revista, casa editora del libro, fecha, número de páginas) con suficientes detalles como para permitir al lector analizar la fuente a partir de la información suministrada; (2) se debe seguir uniformemente cualquier estilo de citas que se escoja (*fide* Molestina et al. 1988).

Comunicación personal

Es la manera de recoger información de personas y no de materiales impresos. Los principales casos son: entrevistas, la carta personal y cuestionario.

Entrevista. Primeramente tenemos que conseguir a la persona que vamos a entrevistar, la cual tiene todo el derecho a saber de lo qué se trata y cual es la finalidad de la misma. Se debe preparar una serie de preguntas y tomar nota de las respuestas sin alterar el ritmo de la conversación. La información recibida debe estar acreditada en el escrito, la cual deberá estar contemplada en el cuerpo del documento, y va de la siguiente manera: Comunicación personal de J. Simonetti, Universidad de Chile, 5 de octubre de 2002. No se aconseja poner las comunicaciones personales en la parte de la Literatura Citada ya que el lector no puede acceder a éstas en una biblioteca.

Carta personal. Tiene básicamente el mismo efecto que una entrevista, excepto que no se tiene el contacto directo entre el entrevistado y el entrevistante. Rigen los mismos consejos que en las entrevistas, teniendo en cuenta que es más difícil conseguir una respuesta por carta que por entrevista directa.

Cuestionario. Esta forma de conseguir información se basa en la elaboración de una serie de preguntas que puedan ser respondidas con un mínimo de esfuerzo, estas respuestas deben ser fáciles de interpretar o tabular.

Los cuestionarios reciben normalmente severas críticas, pero muchos de sus inconvenientes se pueden eliminar si se los elabora con cuidado y se los administra de manera eficaz a sujetos que se hallen en la capacidad de responder. Para una buena elaboración de los cuestionarios se tienen que tomar lo siguiente:

a) Relación con el encuestado.
b) Marco de las preguntas.
c) Distribución de las preguntas.
d) Presentación de las instrucciones y formato del cuestionario.
e) Obtención de respuestas sinceras.

El flujo de la información científica en el mundo contemporáneo

Son varios los medios impresos en los que se difunde el conocimiento producto de la investigación científica, pero no todos ellos actúan de la misma manera y tienen características y finalidades diferentes.

De manera general, se reconocen seis tipos de publicaciones de difusión científica: las revistas especializadas o **journals**, las revistas de revisiones (reviews), las revistas científicas generales, los libros científicos especializados, los libros generales y las enciclopedias de conocimiento popular.

Los journals especializados son revistas científicas de alto nivel técnico en las que se publican artículos originales e inéditos de investigación, donde los científicos comunican por primera vez los resultados de sus trabajos. Los journals suelen tener un campo de estudio muy bien delimitado y suelen ser muy exigentes con el nivel de las publicaciones. Los journals de prestigio cuentan con comités revisores conformados por expertos de varios países del mundo. La información científica, tarda aproximadamente un año en llegar a los journals a partir del momento en

que se generó. Es por ello, que los journals son la fuente de información más actualizada que hay.

El público al que se orientan los journals es bastante restringido, pues la especificidad y el nivel de la temática hacen que los artículos de este tipo de publicaciones sean de interés para poca gente. La difusión de los artículos de una determinada temática en journals genera corrientes de opinión y a veces incluso controversia en los grupos de científicos del área, y estos a su vez, luego de haber leído y/o publicado una serie de artículos en el área deciden escribir un artículo de revisión (más conocido como review) en el que no se presentan resultados de investigación inéditos, sino mas bien que se discute un conjunto de artículos y se emite un criterio al respecto. Usualmente quienes escriben reviews son especialistas en el tema. Los reviews por lo general son notas cortas con bastante sustento bibliográfico. Existen revistas que solamente publican reviews y otras que los publican junto con **artículos originales de investigación**. Los reviews suelen salir un par de años después de la aparición de los artículos de investigación. Son una buena fuente de consulta.

Las revistas científicas generales reúnen información de journals y reviews sobre un tema específico y las condensan en artículos con lenguaje menos técnico, dirigido a un espectro más amplio de lectores. La información suele llegar a las revistas generales unos 3 a 5 años después de haberse generado.

Luego de que la información sobre un determinado tema ha circulado por revistas especializadas y generales, ha generado opinión y bastante discusión, puede ser reunida en un libro científico especializado que trate sobre la temática. La información llega a los libros especializados en unos 8 años después de haberse generado.

Los libros generales y la información de las diferentes revistas se van haciendo más populares y cuando su difusión y aceptación son mayores, uno o más autores reúnen estos conocimientos en libros generales, donde pasan a formar parte de un extenso conjunto de datos, tratados con mucha menos profundidad que en las revistas. Se dice que la información llega a los libros unos **10 años después** de haberse generado.

Y finalmente, los conceptos más genéricos de los libros se reúnen en grandes compilaciones multitemáticas denominadas enciclopedias, las que pueden venir impresas, en CD–ROM, en vídeos, etc. Al mismo nivel de las enciclopedias se encuentran algunos documentales genéricos. En este caso, la información tarda más de 10 años en llegar a la fuente de consulta.

Ahora resultará evidente al lector la diferencia que hay entre consultar un artículo de un journal y un libro, ya que aunque ambos textos hayan sido publicados el mismo año, la actualidad de la información se lleva unos 9 años de diferencia.

Si volvemos al esquema anterior, veremos la secuencia del flujo anteriormente explicado, pero también notaremos que en determinados niveles existen flechas que indican **retroalimentación**. Y efectivamente, en los primeros niveles del flujo existe un efecto de retroalimentación positiva, ya que la gente que consulta journals, reviews y revistas encuentra en estos medios de información de utilidad para seguir investigando y seguir produciendo nueva información. En el caso de los libros especializados se pone una línea discontinua, porque la retroalimentación para este caso es poca.

Entonces, podemos decir que al momento de realizar un trabajo, es conveniente apoyarnos más en artículos de journals y en reviews que en libros, pues de esta manera estaremos manejando información mucho más actualizada, aunque la consulta de este tipo de publicaciones sea más difícil y costosa comparada a la de un libro.

LA BIBLIOGRAFÍA

Esta debe proporcionar información clara y completa de las fuentes que se emplearon para la preparación del informe científico.

En algunos caso se las clasifica en categorías como ser: libros, revistas, periódicos, informes, ensayos y otros, pero por lo general se los dispone en orden alfabético. Este último método es el más apropiado.

Los elementos que tiene que contener una referencia bibliográfica en forma muy general son:

Autor; año de publicación; Título y Subtítulo; Información sobre el documento, tales como notas tipográficas, volumen y número de revista, etc.

El orden de estos puntos pueden varías según el tipo de bibliografía a la que nos estemos refiriendo.

Libros y Folletos

Los datos bibliográficos necesarios para poder rotular un libro o folleto se los puede encontrar en la cubierta, falsa portada, **colofón**, solapa, introducción o prefacio.

Una rotulación de un libro en forma completa tiene que ir de la siguiente manera.

1) Autor
2) Año de publicación
3) Título; subtítulo, cuando es importante
4) Mención del traductor
5) Mención del editor intelectual
6) Número de edición, si no es la primera
7) Lugar de publicación: ciudad (o país solamente en el caso de indicarse la ciudad)
8) Casa editora
9) Numeración de páginas
10) Mención de serie comercial (optativa)

Tesis

La referencia bibliográfica de una tesis, se realiza de la misma manera que la monografía, pero poniendo luego del título la palabra *Tesis* seguida del grado académico en forma abreviada en el idioma en que esta redactada la tesis.

Conferencias, Congresos y Reuniones

Los informes, memorias, actas, memorias de conferencias, congresos, reuniones, simposios, nacionales o internacionales, se anotan por el nombre mismo de la conferencia, congreso o reunión, cuyo nombre se considera como el autor del evento. Los elementos que componen la referencia bibliográfica de este tipo de evento son las siguientes:

1) Nombre de la Conferencia, Congreso o Reunión
2) Número de la Conferencia, año en que se celebró, localidad donde se realizó.
3) Año de publicación del documento
4) Título; subtítulo
5) Mención del editor intelectual
6) Lugar de publicación
7) Casas editorial
8) Páginas o volúmenes

Si el documento solo menciona el nombre de la conferencia, congreso o reunión y no tiene título, se debe crear uno de acuerdo con su contenido. En otros títulos se puede mencionar los siguientes: trabajos presentados, informe, actas, memoria, etc. este título se redacta en el idioma del evento y se encierra entre corchetes.

Monografías en serie

Las monografías en serie son aquellos libros y folletos que se relacionan entre sí por un título colectivo en *serie.* Son publicados generalmente por organizaciones gubernamentales, internacionales o privadas.

Las características de éste tipo de publicaciones son las siguientes:

- Se publica en forma separada y consecutiva
- Area temática similar
- Periodicidad irregular
- Ordenada numéricamente bajo el título de serie, tal como boletín, circular, informe, contribución, publicación o sus equivalencias en otros idiomas.

La referencia bibliográfica debe ir con el siguiente orden:

1) Autor
2) Año de publicación
3) Título; subtítulo, cuando es importante
4) Mención del traductor y/o editor intelectual
5) Número de la edición si no es la primera
6) Institución que la publica
7) Número de páginas o volúmenes

Publicaciones periódicas

La publicación periódica es aquella obra editada por lo general con título distintivo, en fascículos o partes a intervalos regulares, en orden numérico o cronológico y que pretende continuar indefinidamente. Incluye trabajos sobre temas diversos en un solo ejemplar, con la colaboración de varias personas. En este tipo de publicaciones están comprendidos: revistas (journals), periódicos o diarios.

a) En Revistas. La referencia bibliográfica completa de artículos que aparecen en una revista va de la siguiente manera.

1) Autor
2) Año de publicación
3) Título del artículo
4) Nombre de la revista en la cual aparece el artículo
5) Nombre del país donde se publica
6) Volumen y número de revista
7) Página inicial y página final del artículo

b) Artículos Periódicos o Diarios. La referencia bibliográfica completa para periódicos o diarios incluye:

1) Autor del artículo, si lo hay
2) Año de publicación del periódico
3) Título del artículo
4) Nombre del periódico
5) Ciudad y país de publicación
6) Mes y días de publicación
7) Paginación.

Internet

Esta fuente de información computarizada que es una de las más actualizadas debido al dinamismo y la diversidad de lugares a los que se puede recurrir hace que se la considere como una fuente importante de información (Fig. 1–2).

Al igual que los anteriores medios de información se deben cumplir las normas de "Derechos de Autor", es decir que se tiene que poner la fuente a la que uno recurrió, de forma exacta y clara.

La forma de rotulación de la fuente es la siguiente:

1) Se debe de poner la dirección exacta del lugar del Web.
2) Se escribe esta dirección de Internet en negrillas o en otro color de tinta.
3) Siempre va subrayada toda la dirección del Web.

En caso de tomar un artículo científico publicado en Internet, se debe realizar la cita como si se tratase de una revista, indicando además la dirección de la página Web donde éste se obtuvo.

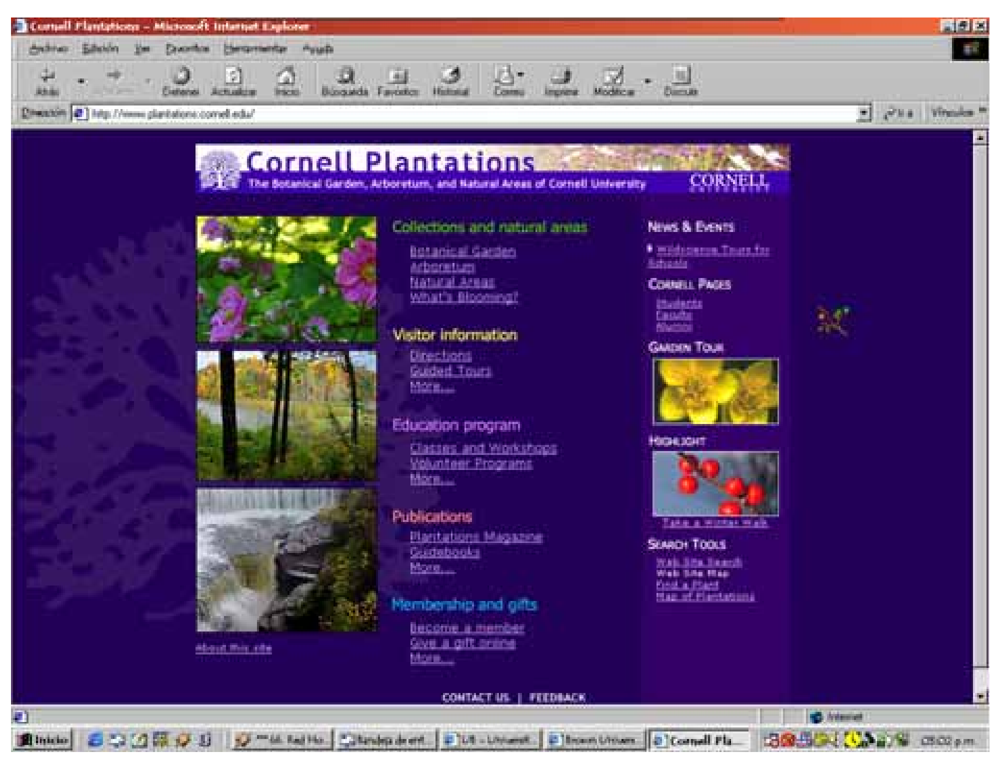


Fig. 1–2: Internet es hoy en día un medio muy dinámico que nos permite acceder a grandes cantidades de información en todos los campos. Las páginas Web (hojas electrónicas) como esta, nos permiten acceder a texto, gráficos y multimedia desde cualquier parte del mundo.

Fichas bibliográficas

Estas tienen relación con las anotaciones que estudiamos anteriormente. La elaboración de dichas fichas esta dada principalmente para el ordenamiento del material de consulta al que uno recurre en el proceso de la investigación científica (Fig. 1–3). Estas fichas se pueden clasificar en:

datos de catalogación bibliográfica

Darío Achá, Francisco Fontúrbel y Diego Mondaca

Manual Universitario de Introducción a la BOTÁNICA

LABORATORIO "SAN CALIXTO", La Paz, 1999

ISBN: 99905-56-00-8

MATERIA: Botánica

Formato: 215 X 275 mm   Páginas: 217

Fig. 1–3: Ejemplo de la estructura que debe tener una ficha bibliográfica.

1) Fichas textuales. Son aquellas en las que se copia de forma textual una parte de una obra. Por lo general serán unas pocas líneas que nos permitan contar con un juicio o información importante.
2) Fichas bibliográficas. Esta lleva el registro completo de la referencia del libro o revista, se las presenta ordenadas alfabéticamente. Tiene la función de darnos las referencias de la bibliografía que se utilizó para la investigación.
3) Fichas resumen. En algunos casos las ideas que plantean los autores no conviene transcribirlas textualmente, y es por ella que se elabora un resumen, lo cual resulta más cómodo. También es mejor tener fichas resumen por cada libro leído para así tener una síntesis de nuestra biblioteca personal.

Cuando citamos a una fuente bibliográfica en el texto, se emplea una cita corta por razones de espacio y comodidad, como el lector ya habrá podido observar a lo largo del texto, la forma de citar un texto dentro del texto es emplear el apellido y el año entre paréntesis, por ejemplo: (Molina 2001), si son dos autores: (Molina & Luna 2000), y si son tres o más autores, solamente se nombra al primero y se añade la terminación **et al.** –que significa "y colaboradores", por ejemplo: (Palacios et al. 1999).

CUESTIONARIO

1) Realice un cuadro comparativo entre deducción e inducción.
2) ¿Qué diferencias hay entre ciencia básica y ciencia aplicada?
3) Nombre en forma correlativa, todos los pasos del método científico y explique brevemente de cada uno.
4) Mediante un ejemplo, elabore un diagrama de flujo de los pasos y procedimientos del método científico.
5) Según su propio análisis, discuta sobre la importancia del método científico y su relación con la biología.
6) ¿Cuáles son los materiales necesarios para una buena elaboración del documento científico?
7) ¿En qué se diferencia la comunicación personal de la consulta bibliográfica?.
8) Rotular: un libro, una tesis, un artículo de periódico y un artículo de revista (journal).
9) ¿Cuál considera que es la importancia de la red Internet al momento de recolectar información para un trabajo científico?. Considere aspectos positivos y negativos.
10) Menciones las tres clases de fichas bibliográficas explicando la finalidad de cada una de ellas.

REFERENCIAS

- Bunge, M. 1987. *La ciencia, su método y su filosofía*. Editorial Siglo XX, Buenos Aires, 110p.
- Jeffrey, B. & A. Garland. 1967. *The Study of Biology*. Addison Wesley Publishing, EUA, pp 27–48.
- Jencsen, W. & F. Salisbury. 1988. *Botánica.* Procesos Educativos S.A., México D.F. pp 7–9.
- Mason, R. & D. Lind. 1998. *Estadística para administración y economía*. 8º edición. Editorial Alfaomega. México D.F., pp 2–4, 17–20.
- Molestina, C., C. Arias, C. Cruz, A. Gorbitz, A. Maclean, M. Nocetti, L. Salinas, A. Samper. & H. Tuya. 1988. *Fundamentos de Comunicación Científica y Redacción Técnica.* IICA, San José, pp 13–16, 39–44, 49–65, 71–77, 211–236.
- Morales, C. 1985. *Manual de Zoología Tomo 1*. Instituto de Ecología – UMSA, La Paz, pp 4–5, 23–24, 64–69.
- Navia, C. 1998. *La Metodología, la investigación y el método científico en la Universidad Boliviana.* Periódico El Diario, La Paz, 23 de agosto. Sec. 6º, pp .
- Popper, K. 1967. *Conjeturas y refutaciones*. Editorial Paidos, Buenos Aires.
- Richard, E. 2003a. *Metodología de la Investigación y Comunicación Científica y Académica. UMSA, Fac. Tec., UPG, Serie Apuntes No. I.* Editorial Theratos, La Paz, 134p.
- Richard, E. 2003b. Docencia, política y sociedad, hacia un nuevo perfil docente investigador universitario para el tercer milenio, en Latinoamérica. En: E. Richard (Ed.). Curso de Diplomado en Metodología de la Investigación y Comunicación Científica y Académica. Editorial Theratos, La Paz, 39p.
- Vandalen, D. & W. Mayer. 1971. *Manual de Técnica de Investigación Educacional*. Paidos, Buenos Aires, pp 466–468.
- Zorrilla, S. & M. Torres. 1995. *Guía para elaborar La Tesis*. Fuentes Impresoras S.A., México D.F., pp 29–41, 37–38, 46–76.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS RECOMENDADAS

- Asimov, I. 1973. *Introducción a la Ciencia Vol. I y II*. Ediciones Orbis, Madrid.
- Baker, J. & G. Allen. 1970. *Biología e investigación científica.* Fondo Educativo Interamericano, EUA.
- Campbell N., L. Mitchell & J. Reece. 1994. *Biology: Concepts & Connections*. Editorial Benjamin Cummings, EUA.
- Daniel, W. 1996. *Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud*. Editorial Limusa, México DF.
- Eid, R. 2005. *Uso, desuso y abuso de las hipótesis: una defensa del planteamiento metodológico*. Serie de documentos de Metodología de la investigación # 30, Escuela Militar de Ingeniería, La Paz, 54p.
- Eid, R. 2005. *Guía propedéutica para la epistemología y la investigación*. Serie de documentos de Epistemología, # 2, Centro de Estudios de Postgrado e Investigación, Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Sucre, 117p.
- Molestina, C., C. Arias, C. Cruz, A. Gorbitz, A. Maclean, M. Nocetti, L. Salinas, A. Samper. & H. Tuya. 1988. *Fundamentos de Comunicación Científica y Redacción Técnica.* IICA, San José.
- Villee C., E. Solomon, C. Martin, D. Martin, L. Berg & W. Davis. 1992. *Biología.* 2º edición, Editorial Interamericana • McGraw–Hill, México DF.

PÁGINAS EN INTERNET

- ✓ Asociación de biólogos estudiantes: http://www.abe.walk.to
- ✓ Biocrawler (buscador científico): http://www.biocrawler.com
- ✓ Buscador de biología en español: http://www.biologia.org
- ✓ Manual de Introducción a la Botánica 2º edición: http://www.mbotanica.8m.com
- ✓ Monografías Argentina: http://www.excelente.com.ar
- ✓ Monografías: http://www.monografias.com

Para información actualizada, nuevos enlaces y material didáctico adicional visitar:

http://www.mbotanica.8m.com



Tristerix corymbosus (Loranthaceae), planta hemiparásita del bosque Valdiviano
Fotografía: F.E. Fontúrbel 2007

CAPÍTULO 2

INTRODUCCIÓN A LA BOTÁNICA
BOTÁNICA EN AMÉRICA LATINA

La **botánica** es la ciencia, parte de la biología, que estudia lo referente a los vegetales. Ésta constituye un estudio integral de las formas de vida, fisiología, evolución, ecología y distribución de este grupo, en el sentido más amplio de la palabra y con el apoyo de todas las ciencias relacionadas a la misma. La botánica ha existido desde la antigüedad, y ha pasado de ser simplemente un **conocimiento empírico** a ser una **ciencia**.

Desde tiempos históricos el ser humano ha dependido de los vegetales en gran medida, y por ello se ha avocado a su estudio. Éstos son los organismos productores primarios, base de la cadena trófica, por ello, las plantas son tanto alimento directo como indirecto para el hombre, puesto que son también el alimento de diversos animales, de los que también éste se alimenta.

Las plantas verdes son las encargadas de transformar la energía lumínica proveniente del sol en energía química por medio de la formación de compuestos orgánicos, se encargan de producir la mayor parte de la biomasa terrestre y de convertir el dióxido de carbono (CO_2) proveniente del ambiente y la respiración en alimento y oxígeno atmosférico (O_2).

Desde tiempos remotos, el hombre ha necesitado de los vegetales para la alimentación, ornamentación, salud y construcción. Para tales fines, ha producido cultivos y ha domesticado algunas especies para aprovechar mejor los beneficios que éstas le traen. Con el paso del tiempo, se han ido dando otras utilidades a las plantas y actualmente son empleadas en diversas formas (por ejemplo, muchos medicamentos tienen origen vegetal).

Actualmente el hombre sigue empleando cultivos y domesticando especies, pero ahora por medio del perfeccionamiento de métodos y técnicas de cultivo y la biotecnología, para abastecer las necesidades del hombre moderno y las poblaciones en constante crecimiento (según Cuerda 1993).

Como cualquier otra ciencia, la botánica es un conjunto de conocimientos sistemáticamente ordenados que sigue los pasos del **método científico** (véase el *Capítulo 1*) y basa sus resultados en la observación, formulación de hipótesis y experimentación. Producto de muchos años de exploración y estudio es el actual inventario de diversidad vegetal (véase el *Capítulo 7*), sin embargo, todavía queda una gran parte de la riqueza vegetal mundial que todavía no ha sido investigada, clasificada ni registrada. Cada año se describen nuevas especies para la ciencia y se conoce más de las que ya fueron descritas.

A veces se piensa que el estudio de la biología comprende principalmente a la zoología, dejando a la botánica como un complemento, pero eso no es cierto ni mucho menos correcto. La botánica tiene igual importancia que la zoología, la microbiología o la biología celular puesto que éstas conforman un estudio integral de la vida y el conocimiento de las dos ciencias es igualmente importante para conocer "la vida" y comprender las relaciones ecológicas tan estrechas que existen entre ellas (véase el *Capítulo 8*).

Un estudio profundo del antiguo Reino "vegetal" ha llevado a la separación del mismo en cuatro nuevos reinos, puesto que las características de algunos organismos no permitían seguir agrupándolos como plantas, en sentido estricto. Estos nuevos reinos son: el Reino **Protista**, el Reino **Monera**, el Reino **Fungi** y el Reino **Plantae** (*fide* Kimball 1984).

El Reino Monera comprende a todos los microorganismos procariotas, que no poseen un núcleo verdadero, aquí se incluyen a las bacterias y cianobacterias. El Reino Protista comprende a los microorganismos eucariotas (con un núcleo verdadero), como ser las algas o los protozoos flagelados. Protistas y Moneras fueron separados de las plantas y los animales porque existen organismos que reúnen características de ambos, y además presentan características únicas.

El Reino Fungi comprende a los hongos, que fueron separados de las plantas debido a todas las diferencias que existen entre ellos, ya que los hongos

son tan diferentes de las plantas como de los animales. Finalmente, el Reino Plantae agrupa a las plantas, tanto no vasculares como vasculares, las cuales se verán a detalle en el *Capítulo 7*.

Woese y colaboradores (1990) plantean un nuevo sistema de clasificación de los seres vivos, propuesto en función a las relaciones de parentesco determinadas por medio de modernos métodos moleculares. En este sentido, el nuevo sistema de clasificación plantea como punto de partida a un **ancestro universal** del cual se desprenden tres **dominios** (categoría jerárquicamente superior al Reino): Archea, Bacteria y Eucarya. El domino Archea incluye a las arqueobacterias y el domino Bacteria a las eubacterias, que en la clasificación anterior estaban juntas dentro del Reino Monera, pero que han mostrado estar evolutivamente muy separadas, y en el tercer dominio (Eucarya) se incluyen a los cuarto Reinos restantes de células eucariotas. Según estudios moleculares, las eubacterias están más cercanamente emparentadas a las células eucariotas que a las arqueobacterias (Woese et al. 1990).

ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS ORGANISMOS VEGETALES

Los **registros geológicos** sugieren que el planeta Tierra se formó aproximadamente hace 5.500 millones de años, y la primera evidencia de vida apareció hace 4.500 millones de años. Se presume que estas primeras formas de vida fueron organismos ancestrales muy simples, de los cuales se derivaron los procariotas y los eucariotas (para más información véase el *Capítulo 6*).

Existen diversas teorías acerca de la formación del planeta Tierra y el origen de la vida en el mismo. De acuerdo con Fontúrbel & Palomeque (2004) plantean dos teorías: la primera, conocida como teoría de la condensación, sugiere que la Tierra se formó por la condensación de materia en el espacio, mientras que la segunda teoría, conocida como la teoría del visitante, sugiere que un en un principio existía un único planeta que fue impactado por un meteorito y cada uno de los fragmentos que resultaron de la colisión se convirtió en un planeta independiente. En este sentido, Fontúrbel & Molina (2004) plantean dos teorías para el origen del agua en la Tierra, una teoría de origen *in–situ* y otra que plantea que el agua provino, en gran medida del espacio exterior; cualquiera sea la teoría que se acepte, es claro que la vida en la Tierra no se habría podido originar en ausencia de agua. Así mismo, la generación del oxígeno molecular (O_2) y la transformación de la atmósfera primitiva de reductora a oxidante fue otro paso clave en la evolución, siendo probablemente las bacterias fotosintéticas las principales responsables de este proceso (*fide* Fontúrbel & Molina, 2004).

Una de las teorías más modernas y aceptadas acerca del origen de la vida plantea que inicialmente la Tierra era un conjunto de elementos químicos inorgánicos en constante transición por medio de diversas reacciones, y gracias a las descargas eléctricas atmosféricas se fueron formando moléculas cada vez más complejas, las que a su vez dieron origen a **los compuestos orgánicos** y éstos posteriormente a los primeros seres vivos (*fide* Villee et al. 1992).

Hace 2.000 millones de años, los seres vivos han dominado todos los ambientes **anaeróbicos** (sin presencia de oxígeno). Los organismos presentes en estos sistemas fueron **heterótrofos**, y gracias a la simplicidad de su organización (procariotas) y su diversidad metabólica consiguieron alimentarse de materia química, orgánica e inorgánica.

La capacidad de contrarrestar la ausencia de oxígeno, llevó a estos organismos a ser completamente dependientes del medio acuático y la **energía lumínica** proveniente del sol (Cronquist 1997). Paralelamente se desarrollaron los organismos capaces de utilizar energía química a partir de compuestos inorgánicos, los cuales se denominan comúnmente **quimiolitótrofos**. También existen organismos **fotosintéticos anoxigénicos**, los cuales hacen una fotosíntesis con un donador de electrones diferente del oxígeno.

Posteriormente, otros organismos que se desarrollaron luego de los primeros heterótrofos consiguieron utilizar la energía lumínica para generar alimento, gracias a especies químicas complejas denominadas **pigmentos**. Estos organismos utilizan la luz solar y el CO_2 para sintetizar sustancias alimenticias, y el producto secundario de este proceso es el oxígeno molecular que se fue aportando a la atmósfera paulatinamente por millones de años. Algunos de estos organismos **autótrofos** fueron los primeros vegetales.

Cuadro 2–1: Equivalencias entre las eras geológicas animales y vegetales.

Era animal	*Periodo*	*Era vegetal*	*Organismo representativo*
Eozoico	**Precámbrico**	**Eofítico**	**Cianobacterias**
Paleozoico	**Cámbrico**	**Eofítico**	**Algas eucariotas**
Paleozoico	**Ordovícico**	**Eofítico**	**Musgos, algas**
Paleozoico	**Silúrico**	**Paleofítico**	**Psilófitos**
Paleozoico	**Devónico**	**Paleofítico**	**Pteridófitos**
Paleozoico	**Carbonífero**	**Paleofítico**	**Musgos**
Paleozoico	**Pérmico inferior**	**Paleofítico**	
Paleozoico	**Pérmico superior**	**Mesofítico**	**Gimnospermas**
Mesozoico	**Triásico**	**Mesofítico**	
Mesozoico	**Jurásico**	**Mesofítico**	
Mesozoico	**Cretácico inferior**	**Mesofítico**	
Mesozoico	**Cretácico superior**	**Cenofítico**	**Angiospermas**
Cenozoico	**Terciario**	**Cenofítico**	
Cenozoico	**Cuaternario**	**Cenofítico**	

En la actualidad se especula bastante acerca del origen de los cloroplastos en las células eucariotas. Una de las hipótesis más aceptadas es la que sugiere que los cloroplastos son procariotas ancestrales incorporados dentro de los eucariotas a manera de endosimbiontes (*sensu* Smith & Wood 1997). De todas maneras, este es un tema en el que todavía falta realizar mucha investigación para poder afirmar algo en concreto.

Se calcula que los organismos autótrofos y heterótrofos coexisten en el planeta hace 3.400 millones de años, y producto del metabolismo de estos seres es la **atmósfera** que se conoce actualmente, compuesta por una mezcla de gases (oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono y argón), así como la capa de ozono (O_3) que es un filtro de rayos ultra violeta (Fontúrbel & Molina 2004).

Inicialmente, todos los organismos vegetales eran acuáticos, pero las presiones de un medio en constante cambio, obligaron a la migración terrestre, proceso que tomó millones de años para una correcta adaptación a las nuevas condiciones (*sensu* Fontúrbel & Palomeque 2004). La acción del medio sobre la diversidad genética, dio lugar a producción de organismos mutantes, capaces de vivir en hábitats diferentes.

Posiblemente la migración del agua a la tierra constituya el paso evolutivo más importante para las plantas y los animales, puesto que se requiere de un mayor esfuerzo para asegurar la supervivencia en un medio tan agreste como el terrestre. Si se compara un alga marina con un árbol, las diferencias son evidentes, el alga no posee ningún sistema de sostén o de transporte porque no lo necesita, en cambio un árbol necesita sostenerse sobre la tierra y contar con medios efectivos para transportar agua y nutrientes a toda la planta.

El hombre apareció en la Tierra hace aproximadamente 2 millones de años según la mayoría de los autores (aunque investigaciones recientes sugieren incluso 7 millones de años), y es –quizá– el factor que más influyó en la ecología y la evolución de las especies.

Las **eras geológicas** se separan en cuatro grandes etapas, pero la división de las mismas generalmente está determinada por los eventos animales (por ello poseen la terminación *zoico*). Sin embargo, también existe un cuadro de eras geológicas basando en los eventos vegetales. El cuadro 2–1 muestra las equivalencias entre las eras geológica animales y vegetales (ver también los *Anexos*).

Las plantas se diferencian de los animales gracias a un conjunto de características que los hacen tan distintos, que al final lo único que llegan a tener en común son características celulares y moleculares ancestrales. La tabla 2–1 muestra un breve resumen de las principales diferencias entre ambos grupos.

Como se puede observar, estas diferencias marcan una frontera muy bien definida entre ambos grupos,

Tabla 2–1: Listado de las diferencias fundamentales que existen entre vegetales y animales.

Plantas	***Animales***
Desplazamiento limitado	Mayor movilidad y amplia capacidad de desplazamiento
Autótrofos (presencia de clorofila)	Heterótrofos (sin clorofila)
Presencia de pared celular	Ausencia de la pared celular
Crecimiento indeterminado	Crecimiento determinado
Presencia de vacuolas	Ausencia de vacuolas
Ausencia de centriolos	Presencia de centriolos
Poca irritabilidad	Mayor irritabilidad

debido a que la organización de cada uno de ellos es distinta.

El estudio más detallado del Reino Plantae llevó a dividir el gran conjunto de individuos que abarca este término en dos partes: las plantas inferiores y las plantas superiores. Sin embargo, los términos superior e inferior no son correctos para denominar a estos grupos de plantas porque ambos poseen características propias y un desarrollo individual, y por lo tanto uno no es "mejor" o "superior" que el otro. Para ello, los términos de plantas inferiores y plantas superiores fueron reemplazados por **plantas no vasculares** y **plantas vasculares** haciendo alusión a la característica de presentar o no un sistema interno de transporte. Usualmente se incluyen a los hongos y protistas afines en las plantas no vasculares, para fines prácticos.

Si bien el término plantas inferiores es equivalente al de plantas no vasculares y el de plantas superiores al de plantas vasculares, no es correcto hacer uso de ambos con el mismo tratamiento. Los grupos "inferiores" deben denominarse no vasculares y los "superiores" vasculares, cualquiera sea el caso. Las plantas no vasculares hacen referencia a las bacterias fotosintéticas, cianobacterias, algas, hongos, líquenes y briófitos. Las plantas vasculares se refieren a las gimnospermas y a las angiospermas solamente. El grupo de los pteridófitos (helechos) es considerado como un grupo de transición entre ambos grupos, por poseer una organización interna intermedia, pero se encuentran clasificados actualmente entre las plantas vasculares.

ESTUDIO DE LOS ORGANISMOS VEGETALES: RAMAS Y ESPECIALIDADES DE LA BOTÁNICA

La botánica pudo llegar sola hasta cierta parte de su desarrollo. Actualmente, necesita de varias **ciencias complementarias** para poder seguir profundizando el estudio de los vegetales. Esta relación entre las ciencias, produjo una serie de especialidades botánicas –que a su vez– colaboran al interdesarrollo de las mismas.

Ciencias relacionadas con la botánica

La lista de las ciencias relacionadas con la botánica es demasiado extensa y en constante aumento para mencionarla completa, sin embargo, entre las principales ciencias relacionadas con la botánica están la anatomía, morfología fisiología, ecología y evolución. Otras ciencias afines son fitogenética, etnobotánica, embriología, ontogenia, zoología, historia, palinología, geología, antropología, arqueología, microbiología, limnología, oceanografía, genética, química, química orgánica, fitoquímica, entomología, agronomía, climatología, farmacología y bioquímica.

Las relaciones entre este conjunto de ciencias afines, puede llevar a la formación de algunos grupos específicos, por ejemplo: la ecología, ecología vegetal y la zoología se encuentran relacionadas entre sí de manera especial en cuanto se refiere al estudio botánico, ya que los organismos vegetales no pueden vivir sin relacionarse con el medio físico y biológico que les rodea.

La geología, historia, historia vegetal, palinología, antropología y la arqueología también se encuentran relacionadas entre sí para el estudio botánico porque gracias a ellas es posible apreciar la trayectoria evolutiva de las plantas en el transcurso de la historia bajo la influencia de los acontecimientos. Aquí también pueden mencionarse a la etnobotánica y a la biología folclórica, que toma en cuenta el uso que le daban y le dan las diferentes poblaciones del mundo a las plantas.

La rama de la **genética** se encarga de establecer líneas de parentesco por similitud de secuencias entre los diferentes organismos vegetales. Pueden darse casos en los cuales un análisis de ADN es la única manera de confirmar el parentesco de dos

organismos morfológicamente muy distintos, o por el contrario, para rechazar hipótesis de parentesco de organismos morfológicamente muy similares.

Finalmente, las ciencias más específicas como la ecología de la reproducción, por ejemplo, estudian relaciones especiales entre los vegetales, y en este caso, los insectos, que son vectores de polinización y dispersión de semillas. La interacción insecto–planta es muy compleja, y la coevolución entre ambos grupos es un tema controversial. Este tema se tratará a más detalle en el *Capítulo 8*.

Especialidades de la botánica

Así como las ciencias relacionadas, las **especialidades botánicas** son múltiples y extensas. Las principales especialidades son la **botánica sistemática**, **genética botánica**, **botánica microbiológica** y **botánica económica**. Esta lista puede extenderse indefinidamente si se aumenta el grado de especialización, por ejemplo si se trata de botánica de frutos o botánica de palmeras tropicales de Bolivia.

Las especialidades de la botánica surgen de la conjunción de la botánica pura con otras ciencias derivadas de la biología. Las ciencias derivadas de la biología son la genética, la bioquímica, la biofísica, etc., que surgen de la reunión de la biología con bases matemáticas, químicas y físicas respectivamente. De la misma manera, la botánica puede trabajar conjuntamente con estas ciencias para crear las nuevas especialidades.

Ramas de la ciencia botánica

La botánica comprende tres ramas fundamentales: la rama sistemática, la rama económica y la rama ecológica.

La rama **sistemática** (Fig. 2–1) es teórica y descriptiva. Comprende los estudios sobre taxonomía, clasificación y en cierta medida genética. Esta rama es la encargada de determinar los niveles de parentesco entre los organismos vegetales, y de ordenarlos de acuerdo a niveles jerárquicos basados en el grado de similitudes comunes.

La rama **económica** es de naturaleza práctica (aplicada para obtener beneficios). Comprende todas las ciencias como la farmacología, la fitoquímica, la etnobotánica, etc., ramas cuyo trabajo y resultados son de utilidad al hombre y representan un movimiento económico de cualquier magnitud. Los vegetales son fuente de alimentación y de numerosas sustancias útiles para el ser humano, por ejemplo, la homeopatía se basa en la curación de males y enfermedades a base de extractos naturales vegetales. Industrialmente, se producen numerosos fármacos a partir de vegetales, como la penicilina (un antibiótico muy común) que se extrae del hongo *Penicillium*.

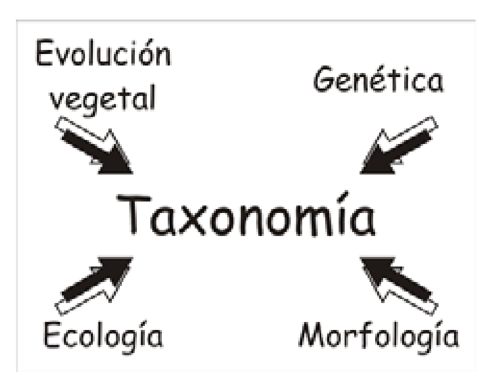


Fig. 2–1: Relaciones de la taxonomía con ciencias afines que contribuyen a su desarrollo.

La rama **ecológica** es aquella que integra las dos anteriores. Comprende especialidades como la geobotánica, la botánica marina y la fisiología. Esta rama se encarga de establecer las relaciones del mundo vegetal (a nivel de poblaciones y comunidades) con el entorno, de manera que se puedan explicar las relaciones que existen entre los organismos vivos con los factores abióticos.

Empleando estas tres ramas, la botánica realiza el estudio de la vida vegetal tomando en cuenta la flora, las comunidades vegetales y la ecología vegetal (Villee et al., 1992). Estos tres estudios se encuentran íntimamente relacionados, puesto que el estudio de la vegetación tiene mucho que ver con la diversidad florística, y las interacciones ecológicas con los dos estudios anteriores (Fig. 2–2).

El estudio de la **flora** está referido a la biodiversidad botánica existente, es decir, estudia la **diversidad florística** mundial.

Finalmente, la ecología vegetal trata las interacciones inter e intraespecíficas de las comunidades vegetales, las interacciones del conjunto de comunidades con el medio, y cómo influyen dichas interacciones en la distribución y

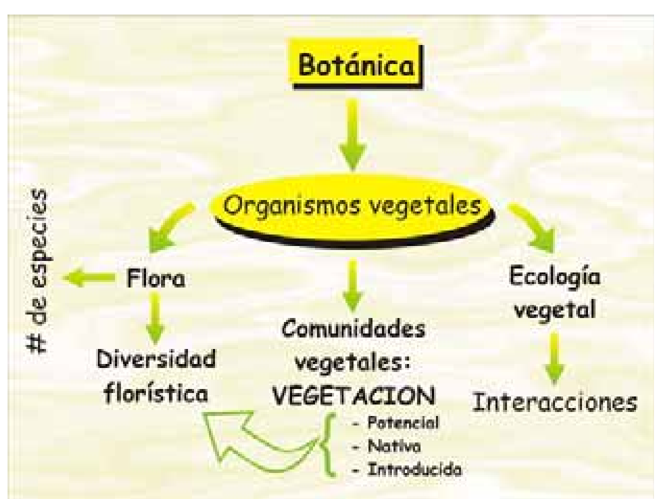


Fig. 2–2: Relaciones entre las tres formas de estudio de la botánica: la diversidad, las comunidades y la ecología.

abundancia de los organismos (Krebs 1985, Smith & Smith 2001).

Estudio de la distribución geográfica de la flora

Para una correcta identificación de la flora, es necesario conocer las regiones mundiales en que se desarrollan (Fig. 2–3). La **franja tropical** está comprendida entre los paralelos 21ºS y 21ºN, y es en esta parte del mundo donde se encuentra la mayor **diversidad florística**, puesto que los polos tienen una reducida diversidad vegetal debido a sus extremas condiciones climáticas. La franja tropical, a su vez, se divide en dos regiones: el **neotrópico** comprende al continente americano y el **paleotrópico** comprende a parte de Europa, Asia, África y Oceanía. La referencia a las diferentes regiones tropicales es esencial para el estudio botánico, por su historia geológica y su origen (Cabrera & Willink 1973, Morrone 2001). Entre los polos y la franja tropical, se encuentran las regiones subtropicales del planeta, en las cuales también existe una amplia biodiversidad en cuanto a flora.

REINOS FLORALES

Según Engler (1964), en la Tierra se distinguen 7 reinos florales, identificados con números romanos y el nombre de una característica o lugar representativos.

Reino Holoártico (I)

En este reino dominan las familias *Salicaceae, Juglandaceae, Betulaceae, Fagaceae, Ranunculaceae, Cruciferae, Caryophyllaceae, Saxifragaceae, Rosaceae, Leguminosae–Papilionaceae, Umbelliferae, Primulaceae, Gramineae, Cyperaceae, Liliaceae* y *Juncaceae*.

El reino holoártico se caracteriza por las bajas temperaturas y la presencia de plantas adaptadas a estas condiciones. En este reino se distinguen:

- El área floral del Ártico
- El área sibérica occidental
- El área sibérica del este
- El área floral mediterránea
- El área de la Macronesia
- El área atlántica de Norte América
- El área pacífica de Norte América
- El área atlántica de Sur América
- El área pacífica de Sur América

Reino Paleotropical (II)

Este reino incluye gran parte del África, el Asia, parte de Filipinas y parte de Nueva Zelanda. Las familias características de este reino son *Loranthaceae, Myristicaceae, Lauraceae, Nepenthaceae, Dichapetalaceae, Euphorbiaceae, Melyanthaceae, Balsaminaceae, Dipterocarpaceae, Araliaceae, Pandanaceae, Araceae, Moringaceae, Connaraceae, Sonneratiaceae, Alangiaceae, Pedaliaceae, Flagellariaceae,* Musaceae y algunas palmeras.

En este reino se distinguen:

- Subreino Africano
- Subreino Indo–Malaico
- Subreino Polinésico

Reino Neotropical (III)

En este reino se incluye el sur de México, Centroamérica y la mayor parte de Sudamérica. Existen pocas familia endémicas pero este reino presenta una gran riqueza florística. Las familias más características son *Tropaeolaceae, Malpighiaceae, Vochysiaceae, Marcgraviaceae, Quiinaceae, Tovariaceae, Bixaceae, Turneraceae, Loasaceae, Cactaceae, Onagraceae, Melastomataceae, Myrtaceae, Solanaceae, Cyclanthaceae, Araceae, Rapateaceae,*

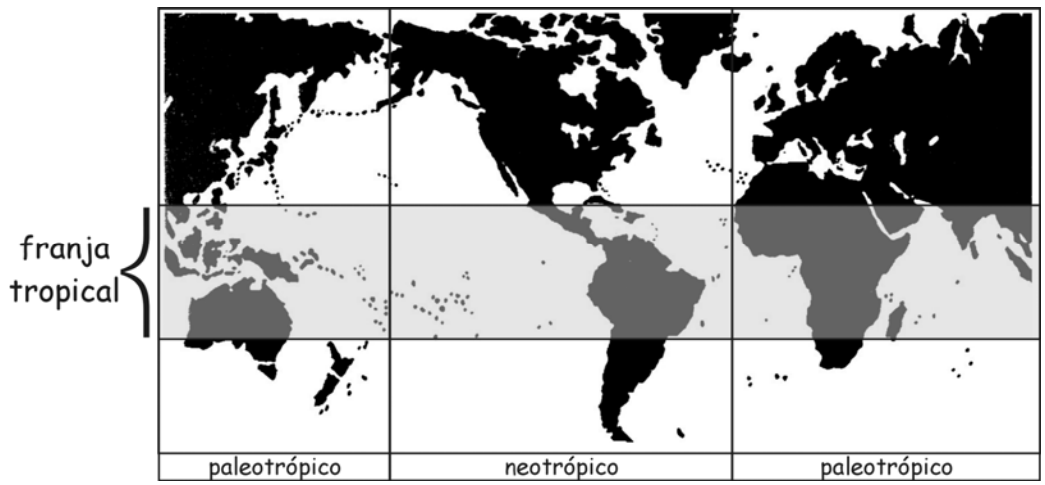


Fig. 2–3: Franja tropical y regiones neo y paleotropicales del mundo. La franja tropical, señalada con color, está comprendida entre los paralelos 21ºS y 21ºN.

Eriocaulaceae, Agavaceae, Bromeliaceae, Cannaceae, Caryocaraceae, Brunelliaceae, Chrysobalanaceae, Julianaceae, Cyrillaceae, Lecythidaceae, Theophrastaceae, Martyniaceae y otras.

Se distinguen las zonas Amazónica y Andina en este reino, por las grandes diferencias de diversidad que existe entre ellas.

Reino del Cabo Esperanza o Reino Capense (IV)

Este reino comprende una pequeña parte del sur de África, la cual está separada del reino Paleotropical por las grandes diferencias de biodiversidad. Presenta familias endémicas, y entre las más características están *Proteaceae, Crassulaceae, Geraniaceae (Pelargonium), Ericaceae, Penaeaceae, Amaryllidaceae, Iridaceae* y *Restionaceae*.

Reino Australiano (V)

Este reino comprende a la isla–continente de Australia, la cual presenta una gran biodiversidad, muy diferente a la de los otros reinos.

Las familias más características de Australia son *Casuarinaceae, Proteaceae, Droseraceae, Tremandraceae, Myrtaceae* –principalmente eucaliptos–, *Epacridaceae, Goodeniaceae, Brunoniaceae, Stylidiaceae, Xanthorrhoeaceae, Gyrostemonaceae, Dysphaniaceae, Myoporaceae* y *Centrolepidaceae*.

Reino Antártico (VI)

Este reino representa la parte sur del globo terrestre, en el que se distinguen el subreino subantártico y el subreino continente antártica. Las familias características de este reino son las gramíneas, *Liliaceae* y *Caryophyllaceae*.

Reino floral de los océanos (VII)

Comprende toda la diversidad botánica acuática de los mares. En este reino existen pocas plantas vasculares (como por ejemplo, el manglar) y dominan las algas.

BOTÁNICA EN AMÉRICA LATINA Y BOTÁNICA EN BOLIVIA

La botánica en América Latina es un campo de estudio que, si bien es relativamente nuevo, actualmente está ganando mucha fuerza gracias al empuje que está teniendo por la participación de diversas instituciones comprometidas con la investigación científica en el área. En este sentido, desde hace varios años ya trabajan juntas diversas entidades como ser ONGs (Organizaciones No Gubernamentales) dedicadas a la conservación de la biodiversidad como por ejemplo Conservación Internacional (CI), la Society of Conservation Biology, Nature Conservancy y Wildlife Conservation Society (WCS), entre las principales. Éstas están a su vez apoyadas por una institución de carácter mundial que es la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)

que maneja las políticas macro del tema de conservación en todo el mundo, por medio de más de 1000 instituciones afiliadas e investigadores asociados.

La cooperación entre colecciones botánicas (Herbarios) entre países también es un factor clave para el progreso del conocimiento botánico, ya que esta "solidaridad" científica permite incrementar el conocimiento que tenemos de la diversidad vegetal y evita el duplicar esfuerzos. El intercambio de colecciones y el flujo "internacional" de investigadores también permite una mayor difusión del trabajo de cada quien, y permite la elaboración de trabajos conjuntos, de muy alto nivel.

La definición de un marco institucional y legal en los países de la Región también fue un factor clave para el avance de la investigación científica en el campo de la botánica. Desde la Primera Cumbre de la Tierra celebrada en 1992 en Rio de Janeiro (Brasil), todos los países participantes adecuaron su marco legal a las nuevas exigencias "del ambiente" y esto se pone de manifiesto por medio de las Leyes de Medio Ambiente y las Estrategias Nacionales de Conservación de la Biodiversidad que los países elaboraron, de acuerdo a las exigencias de la Cumbre y de la Agenda 21.

Los convenios internacionales y su impacto

Tal vez una de las herramientas más efectivas de conservación de la biodiversidad y de gestión de recursos para la investigación en el área biológica (incluida la parte botánica, por supuesto) es la existencia de convenios internacionales que regulan temas macro, de relevancia global.

En este sentido, quizás el más importante sea el convenio de la CDB (Convención de la Diversidad Biológica), seguido de la Convención CITES, que se encuentra en vigencia desde 1975, y encarga de controlar y regular la comercialización (legal e ilegal) de especies silvestres y sus derivados, con especial énfasis en aquellas especies que están en peligro de extinción, por medio de un sistema de Apéndices. En el Apéndice I de CITES se encuentran aquellas especies consideradas como fuertemente amenazadas y que su comercio puede incrementar severamente el riesgo de extinción de las mismas, el comercio internacional de las especies incluidas en este Apéndice está permitido únicamente bajo situaciones extraordinarias, en las que se cuente con una autorización expresa de la autoridad competente tanto del país de origen como del país de destino.

En el Apéndice II de CITES se encuentran aquellas especies que en la actualidad no se encuentran amenazadas, pero que de intensificarse su uso y/o su comercio se encontraría en un estado de amenaza considerable. El comercio de éstas especies es permitido únicamente con las autorizaciones respectivas, y respetando los cupos de extracción y de mercado. El Apéndice III es definido por cada país, en esta lista se incluyen a todas las especies que se consideren amenazadas en el contexto nacional.

Áreas Naturales Protegidas en América Latina

Las áreas protegidas son regiones geográficas amparadas por la ley contra la destrucción y contaminación de sus ecosistemas naturales. Las razones por las cuales se han resguardado estas áreas son la gran diversidad biológica que encierran, la belleza escénica y las formaciones geológicas que presentan, constituyendo centros de vital importancia para el estudio botánico.

Un Área Protegida se define como aquel espacio físico con límites geográficos definidos, una base legal especifica de creación y una categoría de manejo determinada en función a los objetivos de creación del Área Protegida. Estos espacios son creados por la sociedad y el Estado en su conjunto y aúnan esfuerzos para contabilizar la conservación *in–situ* de la diversidad biológica con la mejora de la calidad de la vida de las comunidades involucradas.

La primer Área Protegida del mundo es el Parque Nacional Yellowstone en EEUU, declarado bajo régimen legal de protección en 1872. A la fecha, la concepción de lo que es un Área Protegida ha cambiado bastante, dentro de este cambio se mencionan los siguientes puntos sobresalientes:

- Se ha cambiado la idea de una intangibilidad absoluta por una concepción más amplia y dinámica de la conservación, en la que se incluye el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el mantenimiento a largo plazo de los valores culturales del Área.
- Se entiende al desarrollo político–económico–social del Área y los actores involucrados en un sentido global más amplio e integral, en el que se da mayor importancia a la zonificación del

Área Protegida en función a la vocación de uso de cada sub–unidad territorial.

- Se han dejado de ver a las Áreas Protegidas como islas. La tendencia actual es la de integrar las Áreas Protegidas al desarrollo regional y de propiciar corredores adecuados para garantizar la interconexión entre éstas y el flujo de especies, necesario para evitar procesos de endogamia y erosión genética.
- Se ha ampliado la visión de beneficios que provee el Área Protegida, éstos ya no se restringen únicamente a la conservación de la diversidad biológica, sino que también son importantes instrumentos de investigación científica, educación (especialmente educación ambiental), venta de servicios ambientales (por ejemplo, la venta de bonos de carbono) y ecoturismo.
- Se ha comprendido que la conservación de las especies dentro del Área sólo tiene sentido si se piensa en la conservación y uso racional de éstas también fuera de las fronteras del límite de protección.
- Cada vez se hace más hincapié en la importancia de contar con instrumentos de planificación estratégica y con planes de manejo coherentes y contextualizados a la realidad de cada Área Protegida, con un horizonte a largo plazo.
- Se ha comprendido el concepto de "Áreas Protegidas con gente", y en función a esta nueva visión se ha dejado de ver a la población local como un estorbo o un impedimento para la gestión, sino que mas bien ahora se trabaja con las comunidades como actores esenciales del proceso de conservación y se busca mejorar su calidad de vida por medio de alternativas sostenibles.

Las Áreas Protegidas se organizan el **Sistemas Nacionales de Áreas Protegidas**, que son fundamentales para garantizar su articulación, funcionamiento y gestión. Éstos Sistemas se conforman de cuatro componentes básicos:

1) **Componente territorial.** Se refiere al espacio físico declarado bajo régimen especial de protección y a la representatividad que éste tiene dentro de los ecosistemas y las regiones biogeográficas del país y el continente.
2) **Componente técnico.** Compuesto de diferentes instrumentos técnicos que rigen el manejo y el funcionamiento de cada Área Protegida, y del Sistema en su conjunto.
3) **Componente social.** Compuesto por las comunidades, autoridades y demás actores de la sociedad involucrados directa e indirectamente en el proceso de gestión del Área.
4) **Componente legal.** Compuesto por todas las políticas, leyes y reglamentos aprobados para este efecto.

En América Latina, la composición y número de Áreas Protegidas es como sigue:

- Argentina: 33 Áreas Protegidas.
- Bolivia: 22 Áreas Protegidas.
- Chile: 32 Áreas Protegidas.
- Colombia: 44 Áreas Protegidas.
- Venezuela: 85 Áreas Protegidas.
- Ecuador: 26 Áreas Protegidas.
- Perú: 51 Áreas Protegidas.

Además de las Áreas Protegidas oficialmente declaradas, que presenta el conteo anterior, existen muchos otros espacios declarados como Áreas Protegidas provisionales, en proceso de declaración y también existen **Áreas Protegidas de régimen privado**.

Categorías de manejo

De manera general, se reconocen las siguientes categorías de manejo para Áreas Protegidas:

- **Parque Nacional.** Un Parque Nacional es un lugar, que por contener una gran diversidad y riqueza natural, requiere de protección estricta y permanente de estos recursos, así como de las regiones biogeográficas y de los ecosistemas que existen en el área, para garantizar su preservación a futuro. En los Parques Nacionales se prohíbe el uso extractivo de recursos (renovables y no renovables), así como la construcción de infraestructura, excepto la que esté destinada a la investigación científica, la educación ambiental y la subsistencia de pueblos originarios que cuenten con la respectiva autorización.
- **Monumento Natural**. Esta categoría se establece para preservar los rasgos naturales sobresalientes singulares, de sitios caracterizados por paisajes espectaculares y de gran belleza, debidos a las formaciones geológicas, fisiográficas y yacimientos paleontológicos, junto con una rica

biodiversidad. Igual que como sucede en los Parques Nacionales, todas las acciones dentro del área deben ser autorizadas previamente por la autoridad.

- **Santuario Nacional.** Esta categoría tiene por objetivo la protección estricta y permanente de aquellos sitios que albergan a especies endémicas de flora y fauna silvestres, que se encuentren amenazadas o en peligro de extinción, o bien que conformen comunidades o ecosistemas singulares. Toda actividad en el área precisa de autorización expresa de la autoridad.
- **Reserva de Vida Silvestre.** Esta categoría tiene por finalidad proteger, manejar y utilizar de manera sostenible la vida silvestre, bajo vigilancia y control oficial de la autoridad competente. En estas áreas se pueden utilizar los recursos de acuerdo a un mapa de zonificación, donde se señalan áreas de uso intensivo y extensivo.
- **Área Natural de Manejo Integrado.** Esta categoría tiene como objetivo compatibilizar la conservación de la diversidad biológica y el desarrollo sostenible de la población local, y es otorgada en aquellos sitios donde existen mosaicos de diferentes unidades representativas de ecoregiones, regiones biogeográficas, comunidades naturales o especies de flora y fauna de singular importancia, así como zonas de sistemas tradicionales en el uso de la tierra y aquellas de utilización múltiple de los recursos naturales, así como de zonas núcleo (zonas de protección estricta).
- **Reserva de la Biosfera.** No es precisamente una categoría de manejo, sino es mas bien una denominación que se otorga a algunas Áreas Protegidas en reconocimiento a su importancia mundial para la conservación.
- **Categorías transitorias de inmovilización.** Se asignan provisionalmente para proteger un área determinada que necesita de estudios más profundos para poder asignarle una categoría de manejo determinada.

Botánica en Bolivia

Bolivia es una rama aún poco desarrollada, puesto que gran parte de la investigación biológica que se viene realizando se avoca más a la ecología. Sin embargo, existen profesionales e instituciones encargadas del estudio de la diversidad botánica en Bolivia, tales como el Herbario Nacional, la Fundación Amigos de la Naturaleza “Noel Kempff Mercado”, el Jardín Botánico “Martín Cárdenas”, la Sociedad Boliviana de Botánica, y algunos convenios como el realizado entre el Herbario Nacional y el Missouri Botanical Garden.

Si bien se han descrito alrededor de 13.700 especies actualmente, un porcentaje significativo de la riqueza vegetal boliviana permanece todavía sin estudiar.

Riqueza e importancia de la botánica en Bolivia

En la región neotropical se calcula que existen alrededor de 90.000 especies vegetales. En Bolivia se encuentran aproximadamente 20.000 especies, de las cuales unas 12.000 están clasificadas en el Herbario Nacional. En la tabla 2–2, donde se proporciona un enfoque porcentual de la diversidad botánica boliviana.

Fig. 2–2: Relaciones entre las tres formas de estudio de la botánica: la diversidad, las comunidades y la ecología.

Variedad	*Número*	*Porcentaje*
Briófitos	1.200	6,00%
Pteridófitos	1.300	6,50%
Gimnospermas	16	0,10%
Angiospermas	17.000	85,00%
Otros	484	2,40%
TOTAL	**20.000**	**100%**

Las especies **endémicas** son aquellas que poseen una distribución geográfica muy restringida y por lo tanto son características y únicas de una determinada región. La mayoría de los endemismos en Bolivia son plantas herbáceas y arbustos pequeños. Los casos de endemismos de árboles son poco frecuentes. La mayoría de las especies endémicas bolivianas se encuentran concentradas al pie de los montes andinos, aunque existen algunas palmeras endémicas del oriente. Si bien hay especies endémicas en Bolivia, no se han encontrado hasta el momento familias endémicas. Empero, se conocen cerca de veinticinco géneros monotípicos (de familias dicotiledóneas) que son endémicos.

Pisos ecológicos de Bolivia

En general, se describen 6 pisos ecológicos, según la escala de Holdrige (1987), las cuales se distribuyen en función a la altura y la temperatura:

- De 0 a 1000msnm: zonas cálidas o tropicales, la temperatura promedio es superior a los 24ºC.
- De 1000 a 2000m de altitud: piso templado o premontano, la temperatura promedio está entre 17 y 24ºC.
- De 2000 a 3000m de altitud: piso frío o montano bajo, la temperatura promedio está entre 12 y 15ºC.
- De 3000 a 4000m de altitud: piso páramo o montano, la temperatura promedio está entre 6 y 12ºC.
- De 4000 a 5000m de altitud: piso andino, la temperatura promedio está entre 4 y 12ºC.
- Más de 4000m de altitud: piso nival, con temperaturas promedio alrededor de los 3ºC.

Estos pisos ecológicos universales, a su vez pueden ser divididos en más pisos de menor escala, para fines prácticos del estudio que se esté realizando. Por ejemplo, Beck (1985) realiza la siguiente división de pisos altitudinales para el estudio de la flora ecológica en el altiplano boliviano:

- De 5000 a 5100m de altitud: piso nival y subnival.
- De 4500 a 5000m de altitud: piso altoandino superior.
- De 4000 a 4500m de altitud: piso altoandino inferior.
- De 3660 a 4000m de altitud: piso de la puna verdadera.

En Bolivia existen todos estos pisos ecológicos, que gracias a las características climáticas propias albergan a diferentes tipos de asociaciones fisiográficas, geográficas y ecológicas de vegetación. Para la caracterización de estos pisos ecológicos en función a la flora, Beck et al. (1993) han descrito el mapa de vegetación de Bolivia (ver Fig. 2–4).

En la caracterización geográfica de la vegetación, se distinguen las principales zonas de Bolivia, en función a la diversidad florística de las mismas. Estas zonas comprenden:

- *Valles interandinos secos:* Comprendidos entre La Paz, Cochabamba, Sucre, Tarija y Potosí.
- *Valles interandinos húmedos (Yungas):* La Paz. Cochabamba y Santa Cruz.
- *Sabanas:* La Paz, Santa Cruz, Beni, Pando y Cochabamba.
- *Bosques húmedos (semideciduos):* Santa Cruz y una mínima parte del Beni.
- *Puna y montañas altas:* La Paz, Oruro y Potosí.
- *Chaco:* Tarija, Sucre y Santa Cruz.
- *Bosques húmedos:* Pando, La Paz, Beni, Santa Cruz y Cochabamba.

La biodiversidad, y en especial la diversidad vegetal, en la actualidad han cobrado una gran importancia y ha pasado a ser un interés global, puesto que el conocer la riqueza y diversidad de una región permite desarrollar estrategias de desarrollo y conservación adecuadas, y también permite descubrir usos y aplicaciones a especies antes desconocidas. Bolivia es un país muy diverso, lo cual es ventajoso por un lado puesto que las posibilidades y recursos que tiene son muy amplios, pero por otro lado resulta un perjuicio, ya que una diversidad grande es difícil de ordenar, clasificar y darle aplicaciones, y además se necesita mucho más presupuesto para hacer estas investigaciones, y en un país pobre retrasa el conocimiento y los estudios posteriores.

Economía y botánica en Bolivia

En la relación botánica–economía, existen dos niveles de aprovechamiento económico:

Economía de subsistencia. Es aquella donde la mayoría de los grupos étnicos establecen una relación de uso de las plantas a una menor escala de producción y por consiguiente de menores ingresos, tanto que no se compensa el trueque de productos por la carencia de una valoración monetaria. La finalidad de esta escala económica es la de alimentar a la población.

Economía para la comercialización. Es aquella donde se presenta una elevada producción, donde unos cuantos productos vegetales –seleccionados rigurosamente en calidad– son producidos a mayores escalas con el fin de generar ingresos significativos.

En Bolivia y en el mundo, la relación entre la economía y la botánica es muy estrecha, puesto que los vegetales constituyen una gran fuente de ingresos

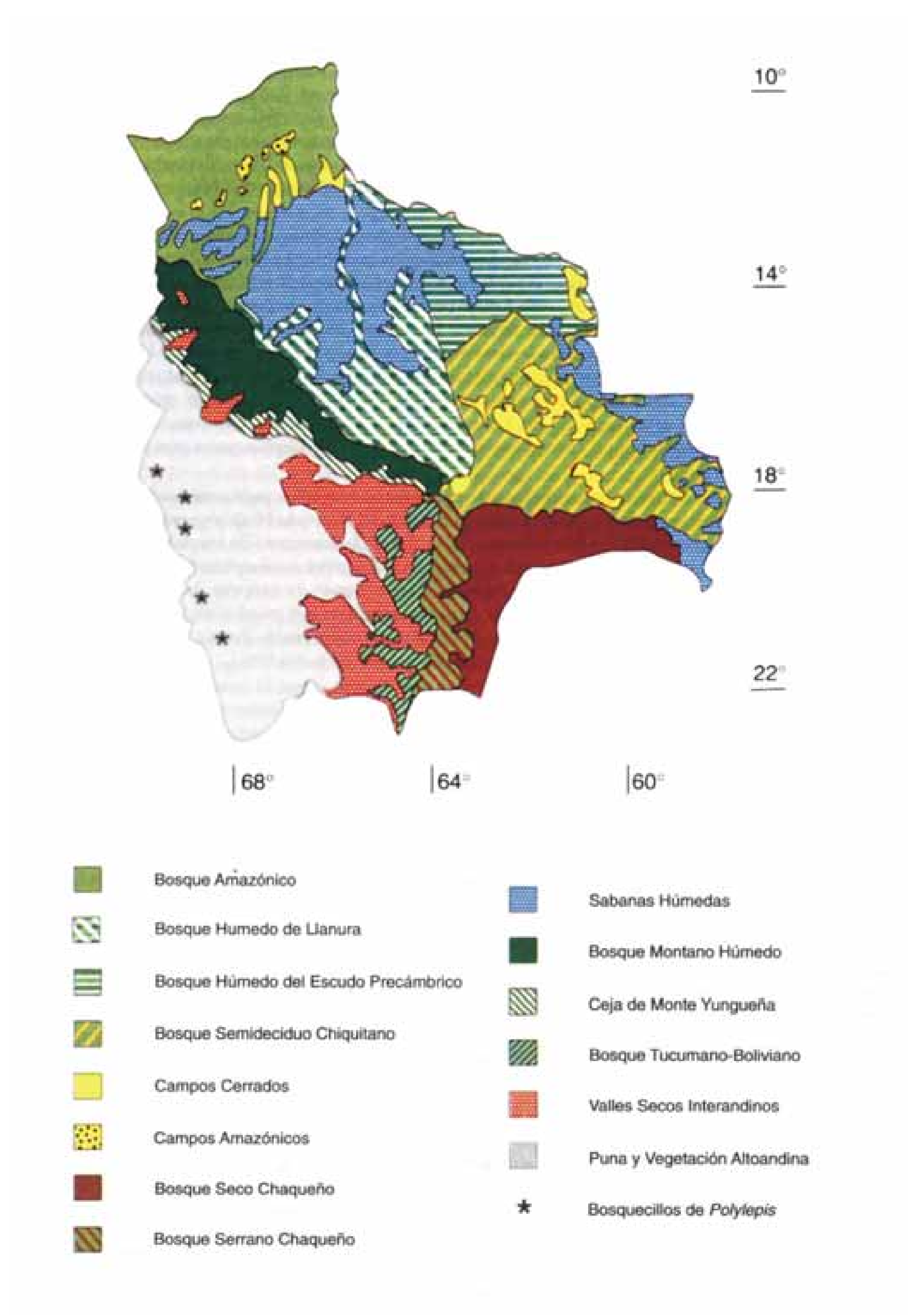


Fig. 2–4: Mapa de vegetación de Bolivia (reproducido bajo autorización, Beck et al. 1993).

económicos y mueven grandes capitales. El hombre así como los animales dependen de una manera directa de los vegetales, puesto que éstos son alimento. Es importante sacar cada vez mayor provecho de las diferentes especies vegetales de uso común para que sea posible abastecer alimentos a un mundo en constante crecimiento poblacional y de necesidades.

La extensión de los cultivos y el mejoramiento a las especies existentes son dos de las mayores inversiones del hombre en la agricultura, puesto que mientras mejores productos vegetales se puedan

obtener con menor trabajo y menor material, aumentar el rendimiento de sus producciones. Las mejoras normalmente se las ha realizado por manipulaciones genética y un claro ejemplo de ello son los cítricos.

El aprovechamiento de los recursos forestales es una fuente de ingresos significativa, tomando en cuenta la comercialización de diversas maderas y de recursos no maderables que tienen actualmente importante recepción en los *mercados verdes*, para la identificación de especies como recursos innovadores (resinas, frutos y artesanías entre otros).

La riqueza botánica de Bolivia le da las facultades para ser uno de los más grandes exportadores de productos vegetales. Sin embargo y debido a factores de desarrollo y a la pobre industrialización del país esto no es así.

La deforestación de áreas naturales para realizar cultivos específicos con fines económicos se conoce como la formación de un **agroecosistema**. Los agroecosistemas tratan de proporcionar las características óptimas para la especie del cultivo, a fin de optimizar la producción del mismo, sin embargo la mayoría de las veces la formación se agroecosistemas trae más problemas que ventajas (mayor información en el *Capítulo 8*).

Ecología y botánica en Bolivia

Bolivia presenta características fisiográficas y climáticas muy diversas, lo que condiciona la formación de una amplia variedad de ecosistemas, los cuales guardan una gran riqueza botánica.

Si se toma en cuenta el punto de vista funcional, dejando un poco de lado las consideraciones usuales como una serie de beneficios de tipo estético, recreativos, culturales y artísticos, de información educativa, histórica y científica, los pisos ecológicos y los diferentes hábitats vegetales constituyen un ecosistema dinámico que interactúa de manera positiva con otros sistemas económicos y ecológicos.

Las plantas desempeñan un papel local, regional, y global en la regulación del ciclo climático, impulsan los sistemas generales de circulación de la atmósfera, influencian sobre la precipitación, impiden fluctuaciones extremas de temperatura, concentran mayor humedad y, en general, favorecen condiciones climáticas menos variables que en lugares deforestados o expuestos.

Son parte importante del ciclo hidrológico y protectores del suelo, pueden generar condiciones locales que ayudan a reducir la carga de sedimentos. Por otro lado, los vegetales son los que propician un natural reciclaje de nutrientes indispensables para mantener la fertilidad de los suelos (ver Ciclos biogeoquímicos, en el *capítulo 8*). Un claro ejemplo de los costos ecológicos de la deforestación, lo tenemos en la cuenca del Piraí en Santa Cruz, donde el desarrollo de los procesos erosivos han favorecido a la presencia de fenómenos climáticos que se traducen en lluvias torrenciales e inundaciones periódicas que causan importantes perjuicios económicos y sociales, en esta área urbana (Marconi 1992).

La función de soporte y mantenimiento de la diversidad biológica deriva además a funciones productivas. Los bosques húmedos tropicales son los que presentan las mayores reservas de diversidad biológica de la tierra. La mayoría de las plantas que aquí existen no han sido identificadas y/o estudiadas.

CUESTIONARIO

1) Defina Ciencia, Botánica y método científico.
2) Establezca las principales diferencias y similitudes entre plantas y animales.
3) Discuta la utilidad e importancia de las ramas y especialidades de la botánica.
4) Explique porqué se debe tomar en cuenta el factor geográfico para la identificación botánica.
5) ¿Qué se puede decir acerca de la diversidad botánica en América Latina?.
6) Mencione y compare los pisos ecológicos de Bolivia, con ayuda de la figura 2–4.
7) ¿Qué es un área protegida y para qué sirve al estudio botánico?
8) Compare, mediante una tabla, las diferentes categorías de manejo de las áreas protegidas.
9) Discuta la importancia del componente social en la conservación de la biodiversidad.
10) ¿Cuál es la base de la importancia económica de las plantas?

REFERENCIAS

- 🕮 Beck S., Killen, T. & E. Garcia. 1993. *Vegetación de Bolivia.* En: Killeen et al. (eds.), *Guía de Árboles de Bolivia.* Herbario Nacional de Bolivia – Missouri Botanical Garden, La Paz – Missouri, pp 8–9.
- 🕮 Beck, S.. 1985. *Flórula ecológica de Bolivia*. Ecología en Bolivia, 6: 1–41.
- 🕮 Cabrera, A. & A. Willink. 1973. Biogeografía de América Latina. OEA, Washington, pp 83–96.
- 🕮 Cronquist, A. 1997. *Introducción a la botánica.* Ed. CECSA, México DF., 848p.
- 🕮 Cuerda, J.. 1993. *Atlas de Botánica*. Editorial Cultural, Barcelona, pp 8–9.
- 🕮 Cumbre para la Tierra. *Resumen de Prensa PROGRAMA 21, conferencia de las Naciones*
- 🕮 Engler, A. 1964. *Syllabus der pflanzenfamilien II.* 12º edición, Ediciones Gerbrüder Borntraeger, Berlin, pp 626–629.
- 🕮 Fontúrbel, F. & C. Molina. 2004. Origen del agua y el oxígeno molecular en la Tierra: efecto sobre la biodiversidad. Revista Elementos, 53: 3–9.
- 🕮 Fontúrbel, F. & S. Palomeque. 2004. El desarrollo de la biodiversidad en la Tierra y su relación con la geodinámica interna y externa del planeta. En: Richard, E. (Ed.). Cátedra De Manejo Y Conservación De Vida Silvestre, Materiales De Apoyo Docente. Maestría en Recursos Naturales y Gestión Ambiental, Escuela Militar de Ingeniería (La Paz, Bolivia). CD–ROM interactivo. Escuela Militar de Ingeniería. La Paz, 121p.
- 🕮 Holdrige, J.. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. Editorial IICA, San José p 14.g
- 🕮 Kimball, J.. 1984. *Biología*. 4º edición, Editorial Addison–Wesley Iberoamericana, México DF, pp 638–689.
- 🕮 Krebs, S. 1985. *Ecología: Estudio de la Distribución y la Abundancia*. 2º edición, Editorial Harla, México DF, pp 3–4.
- 🕮 Marconi, M. 1991. *Catálogo de Legislación Ambiental en Bolivia*. C.D.C., La Paz, pp 15–22.
- 🕮 Marconi, M.. 1992. *El sistema Nacional de Áreas Protegidas y las Áreas bajo Manejo Especial (*En Conservación de la Diversidad Biológica en Bolivia, María Marconi editora). CDC–Bolivia y USAID/Bolivia, La Paz, pp 336–338.
- 🕮 Moraes, M. & S Beck. 1992. *Diversidad florística de Bolivia*. María Marconi (ed.) en Conservación de la Diversidad Biológica en Bolivia. CDC–Bolivia y USAID/Bolivia, La Paz, pp 79–87, 93.
- 🕮 Morrone, J. 2001. Biogeografía de América Latina y el Caribe. CYTED, ORCYT– UNESCO, SEA, Zaragoza, pp 13–133.
- 🕮 Nagashiro, N. 1992. *Recursos forestales y Características de Uso (*En Conservación de la Diversidad Biológica en Bolivia, María Marconi editora). CDC–Bolivia y USAID/Bolivia, La Paz, pp 268–270.
- 🕮 Ribera, M. O. 1996. *Guía para la Categorización de Vertebrados Amenazados*, C.D.C., La Paz, pp 63–67.
- 🕮 Smith C. & E. Wood. 1997. *Biología celular.* Editorial Addison–Wesley Iberoamericana, EUA, p136–137.
- 🕮 Smith, R.L. & T.M. Smith. 2001. Ecología. 4º edición, Editorial Addison Wesley, Madrid, 639p.
- 🕮 *Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo*, Río de Janeiro, 1994, ONU., pp.20–21.
- 🕮 Villee C., E. Solomon, C. Martin, D. Martin, L. Berg & W. Davis. 1992. *Biología*. 2º edición, Editorial Interamericana • McGraw–Hill, México DF, pp 180, 391–392, 425–432, 469–586, 1228–1245, 1249–1276, 1280–1283.
- 🕮 Woese, C., O. Kandler & M. Wheelis. 1990. *Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archea, Bacteria and Eucarya*. PNAS **87**: 4576–4679.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS RECOMENDADAS

- 🕮 Cronquist, A. 1997. *Introducción a la botánica*. Ed. CECSA, México DF, 848p.
- 🕮 Gudynas, E. 1996. *Vendiendo la Naturaleza.* Centro Latinoamericano Ecología Social • Cooperación Técnica Alemana • Instituto de Ecología, La Paz.

- Henry, G. & G. Heinke. 1999. *Ingeniería ambiental*. 2º edición, Editorial Prentice Hall – Pearson Education, México DF.
- Pestalozzi, H.U. & M.A. Torrez. 1998. *Flora ilustrada altoandina*. Herbario Nacional de Bolivia – Herbario Forestal Nacional “Martín Cárdenas”, Cochabamba, 245p.
- Raven P., R. Evert & S. Eichhorn. 1991. *Biología de las plantas* Tomos I y II. Editorial Reverté, Barcelona.

PÁGINAS EN INTERNET

- ✓ Áreas Protegidas de América Latina: http://www.areas-protegidas.org
- ✓ Fundación Amigos de la Naturaleza: http://www.fan–bo.org
- ✓ Fundación para el desarrollo de la Botánica: http://pagina.de/funbotanica
- ✓ Missouri Botanical Garden: http://www.mobot.org
- ✓ Red Latinoamericana de Botánica: http://rlb-botanica.org
- ✓ Sistema de Información Ambiental: http://www.bolivia-industry.com/sia

Para información actualizada, nuevos enlaces y material didáctico adicional visitar:

http://www.mbotanica.8m.com



Heliconia sp. (Heliconiaceae), en la selva húmeda del Beni
Fotografía: F.E. Fontúrbel 2005

CAPÍTULO 3

NIVELES DE ORGANIZACIÓN

La biología se dedica al estudio científico de la vida y por ello es para esta ciencia fundamental que describa de que se componen los organismos vivos y como es que estos componentes están organizados dentro de cada organismo. De la misma forma para la comprensión del funcionamiento interno de las plantas y como es que los factores externos las afectan, es fundamental saber de que están compuestas y como es que estos componentes están organizados dentro de ellas.

Como toda la materia, los organismos están compuestos de átomos que se encuentran combinados para formar moléculas de diferentes características fisicoquímicas. Estas moléculas con sus características propias forman las estructuras que componen la célula. Esta última es la unidad básica de la vida y se dice que cualquier nivel de organización por debajo de la célula no se puede considerar un organismo vivo. Sin embargo, aún existe mucha discusión sobre el caso de los virus.

Los niveles de organización no terminan en la célula ya que la agrupación de células con características semejantes forma los tejidos vegetales y la agrupación de varios tejidos con un determinado propósito conforma los órganos vegetales. En suma se podría decir que una planta es la suma de tejidos y órganos asociados formando un ente relativamente independiente.

Las características de las plantas están determinadas por las características de sus tejidos que a su vez están determinadas por las características de sus células y así sucesivamente. En el presente capítulo se desglosarán cada uno de estos niveles de organización, con lo que se sentaran las bases necesarias para la comprensión de los próximos capítulos.

LA QUÍMICA DE LA VIDA: INTRODUCCIÓN A LA BIOQUÍMICA

Agua

El agua en general es sinónimo de vida y sin este compuesto es posible que nunca hubiese surgido la vida sobre nuestro planeta. La vida existe en un medio acuoso, y todas las reacciones e interacciones del interior de la célula se verifican en presencia de agua (Smith & Wood 1997). Además, se debe señalar que en las plantas el agua constituye una parte muy significativa de su peso, al menos en cierta etapa de su ciclo vital.

¿Por qué es el agua fundamental para la vida?. Parece en un principio algo difícil de comprender, pero la respuesta se halla fundamentalmente en las propiedades fisicoquímicas de este compuesto y como se verá a continuación, posiblemente también en su abundancia.

La molécula de agua (Fig. 3–1) consiste en dos átomos de hidrógeno unidos covalentemente a un átomo de oxígeno. Los átomos unidos por uniones covalentes están en un constante tire y afloje por los electrones del enlace. La atracción que ejerce un átomo sobre los electrones compartidos por el enlace es denominada **electronegatividad**. Cuando las electronegatividades son iguales en los átomos que componen la molécula se habla de una unión covalente **no polar**. En cambio cuando existe una diferencia de electronegatividades se denomina unión covalente **polar** y a las moléculas polares. Ya que el átomo de oxígeno es mucho más electronegativo que los átomos de hidrógeno los electrones del enlace permanecen más próximos al oxígeno que a los hidrógenos. Esto hace que el oxígeno se haga parcialmente más negativo y que los hidrógenos se hagan parcialmente más positivos. Estas características desembocan en **puentes de**

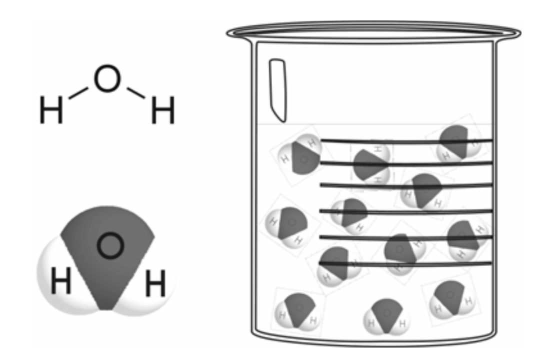


Fig. 3–1: La molécula de agua.

hidrógeno y otras propiedades poco comunes (*sensu* Hein 1992).

Los puentes de hidrógeno son enlaces provocados por una ligera diferencia de carga. Es así que los puentes de hidrógeno en el agua se forman entre el átomo de oxígeno de una molécula de agua y el átomo de hidrógeno de otra molécula de agua, como se muestra en la figura 3–2. Los puentes de hidrógeno en el agua duran un tiempo imperceptible, pero a un tiempo dado la mayoría de las moléculas de agua se encuentra unida por estos enlaces. Esta tendencia de las moléculas a quedarse pegadas unas a otras se denomina **cohesión** y es mucho más fuerte en el agua que en muchos otros líquidos.

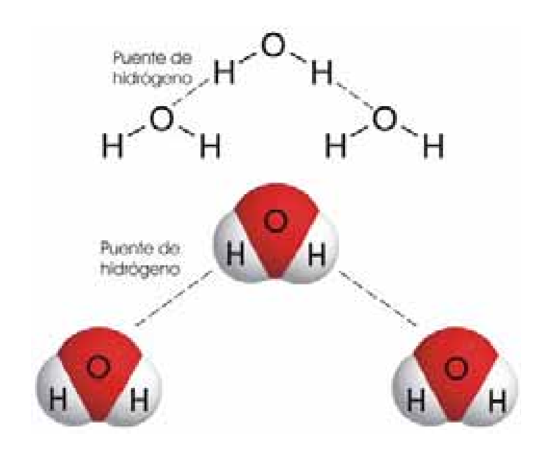


Fig. 3–2: Unión de moléculas de agua por medio de puentes de hidrógeno.

La cohesión constituye una propiedad muy importante del agua para la vida. Como veremos más adelante esta propiedad es en especial importante para el transporte de agua en plantas.

Relacionada con la cohesión otra importante propiedad del agua es la **tensión superficial**. Esta es la medida de cuan difícil es extender o romper superficie de un líquido, y esta propiedad es también muy fuerte en el agua.

También debido a los puentes de hidrógeno, el agua es muy resistente a los cambios de temperatura. Esto se puede apreciar cuando se entra al mar o a un lago a nadar, rápidamente se puede notar que existe una diferencia de temperaturas entre el aire y el agua. El agua requiere de mucha energía para que su temperatura cambie porque su **calor específico** es muy alto (1 cal/g*ºC). El calor específico es la cantidad de energía necesaria para que 1 g de una substancia incremente su temperatura en 1 ºC.

El elevado calor específico del agua es muy importante para los seres vivos ya que les ayuda a mantener su temperatura dentro de un reducido rango y a escapar a cambios bruscos de temperatura. Esta propiedad es también importante porque los grandes cuerpos de agua pueden almacenar cantidades significativas de calor, que no solo tiene una influencia sobre el medio acuático, sino sobre todo el medio circundante.

Relacionada al calor específico, otra propiedad importante del agua es su elevado calor de vaporización (100 ºC). Esta propiedad es muy utilizada por diversos organismos, incluyendo las plantas, para la refrigeración de sus tejidos.

Por otro lado, el agua es un **solvente** versátil, por lo cual recibe frecuentemente la denominación de solvente universal. Sin embargo, se debe señalar que el agua no es solvente para todas las substancias. De hecho, la polaridad del agua es la responsable de su capacidad de solvente. El agua es buen solvente principalmente de substancias con las que puede formar puentes de hidrógeno, pero también es muy buen solvente de pares de iones que tienden a separase en el agua.

En contraposición a lo anterior, existen numerosas substancias que no se pueden ser disueltas en agua. Estas son moléculas no polares, como por ejemplo las grasas e hidrocarburos. Se dice que estas substancias son **insolubles** en agua. Estos compuestos presentan una resistencia a disolverse en el agua y se denominan **hidrofóbicos** que significa que no presentan afinidad por el agua. Las moléculas afines al agua, en cambio, se denominan **hidrofílicas**. Ciertas moléculas, que se tratarán más adelante, tienen una porción hidrofóbica y otra hidrofílica, lo que les proporciona características especiales y de suma importancia para los organismos.

Finalmente el agua, sustrato para las reacciones del metabolismo, presenta la posibilidad de ionizarse, lo que constituye una de sus propiedades de mayor importancia para los organismos. En la ionización del agua se producen dos iones, el ion hidronio (H_3O^+) y el ion hidróxido (OH^-), pero por conveniencia se hablará de iones H^+ y OH^-.

El número de moléculas de agua ionizadas es pequeño y constante, lo que da estabilidad al agua. Esto resulta de suma importancia para los organismos ya que sus reacciones dependen de un balance apropiado de iones. Esto no significa que todas las reacciones tengan lugar en un mismo equilibrio de H^+ y OH^-. Las substancias polares o iónicas disueltas en el agua pueden aportar con iones H^+ a la solución o ser aceptores de estos, es decir que pueden "sustraerlos" de la solución. Esta propiedad de los compuestos polares e iónicos disueltos en el agua provocan que haya una variación en la cantidad relativa de iones libres, dando origen a lo que conocemos como **pH**.

Cuanto más **ácida** es al solución, más alta es la concentración de H^+, mientras que cuanto más **básica** es la solución más baja es la concentración de H^+. Para describir la **acidez** o **basicidad** de una solución se utiliza una escala de pH (Fig. 3–3).

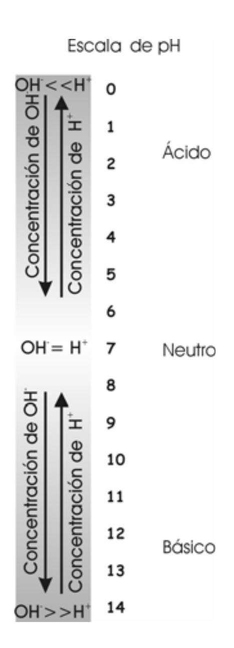


Fig. 3–3: Escala de pH.

Las moléculas que dan H^+ son denominadas **ácidos**, mientras que las que los aceptan son **bases**. Un ácido es el ácido clorhídrico (HCl) y una base es el hidróxido de sodio (NaOH). Aparte de estos dos tipos de moléculas están los **buffers**, que son las moléculas capaces de dar o aceptar H^+ de acuerdo a las condiciones. Estas moléculas son de suma importancia para estabilizar el pH.

Carbono

Casi todas las moléculas que la célula "hace" o que la constituyen están compuestas principalmente por carbono (Fig. 3–4). El carbono no tiene paralelo en su habilidad para formar largas y diversas moléculas, y junto con el agua los compuestos que contienen carbono son las substancias más comunes en la célula. Por ello se podría decir que el carbono es la base de la diversidad de la vida o incluso que la vida se basa en el carbono.

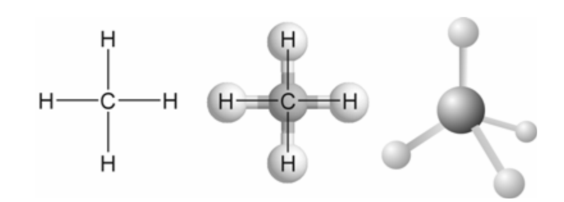


Fig. 3–4: El átomo de carbono tiene la capacidad de formar cuatro enlaces.

Los compuestos que contienen carbono son denominados **compuestos orgánicos** y la química de estos compuestos se denomina **química orgánica**. Actualmente se conocen y se han caracterizado varios millones de compuestos orgánicos (Smith & Wood 1997)

Los compuestos orgánicos están principalmente compuestos de carbono que se combina consigo mismo y con hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y algunos otros pocos elementos.

El por qué este elemento y no otro es la base de los compuestos orgánicos se explica, al igual que en el caso del agua, por sus extraordinarias propiedades, que se asocian a sus características atómicas.

El carbono posee seis electrones y seis protones, de los cuales solo cuatro están en la capa más externa. Debido a esta composición el carbono presenta una baja tendencia a ganar o perder electrones (ionizarse). En su lugar forma enlaces covalentes muy estables con otros carbonos y otros elementos. Dada esta capacidad del carbono de unirse a otros carbonos y formar cadenas, redes y círculos, las formas de los compuestos orgánicos son prácticamente ilimitadas. A esto hay que sumar que el carbono es capaz de unirse a otro átomo por enlaces dobles y hasta triples, lo cual incrementa la diversidad posible en los compuestos orgánicos.

Carbohidratos

Los carbohidratos o hidratos de carbono comprenden los azúcares, almidón, celulosa y otros compuestos relacionados, se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno. Muchas de estas moléculas (las más grandes) se componen de unidades iguales o semejantes y se denominan **polímeros,** al tiempo que las subunidades se denominan **monómeros**.

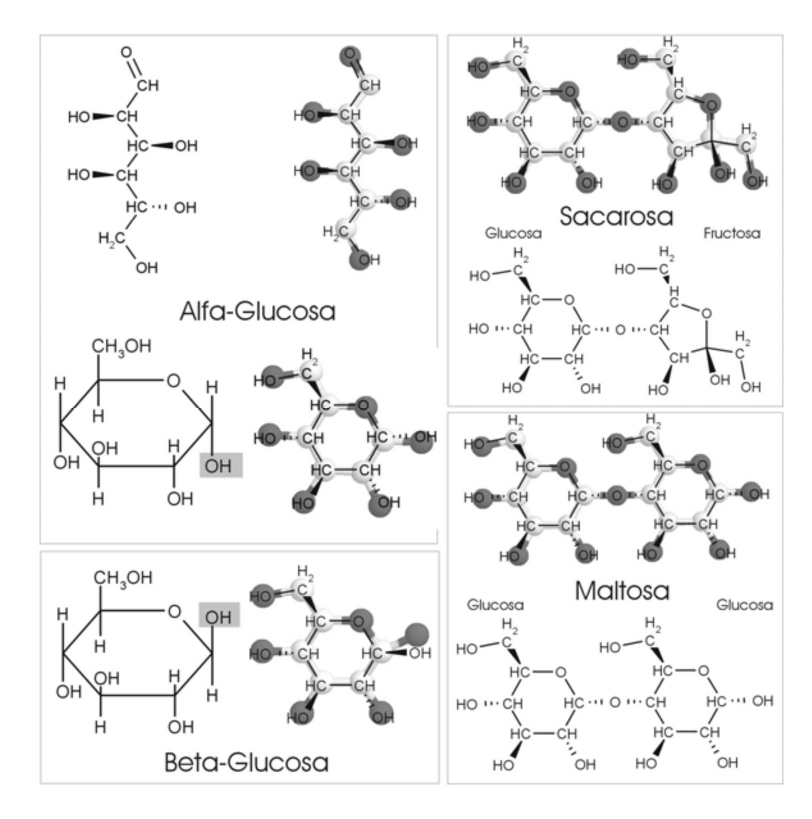


Fig. 3–5: Estructuras moleculares de (a) monosacáridos y (b) disacáridos comunes.

Resulta práctico y común agrupar a los carbohidratos de acuerdo a cuantas unidades contienen. Los que solo están conformados por una sola unidad se denominan **monosacáridos**, los que tienen dos subunidades se denominan **disacáridos** y los que tienen más subunidades se denominan **polisacáridos**. Algunos autores hablan de trisacáridos y así sucesivamente, pero entrar en estas denominaciones resulta poco práctico y algo tedioso.

Los monosacáridos son los más simples y se componen de una cadena de átomos de carbono enlazados con átomos de hidrógeno y de oxígeno. La proporción en que se encuentran estos átomos es dos hidrógenos y un oxígeno por cada carbono ($C_nH_{2n}O_n$) (Fig. 3–5a). Los disacáridos no son más que moléculas formadas por dos monosacáridos que pueden o no ser los mismos (Fig. 3–5b).

Los polisacáridos son generalmente **macromoléculas** conformadas por un gran número de monosacáridos (Fig. 3–6). Las características de los polisacáridos no solo están determinadas por los monosacáridos que los componen, sino también por como estas unidades se unen unas a las otras.

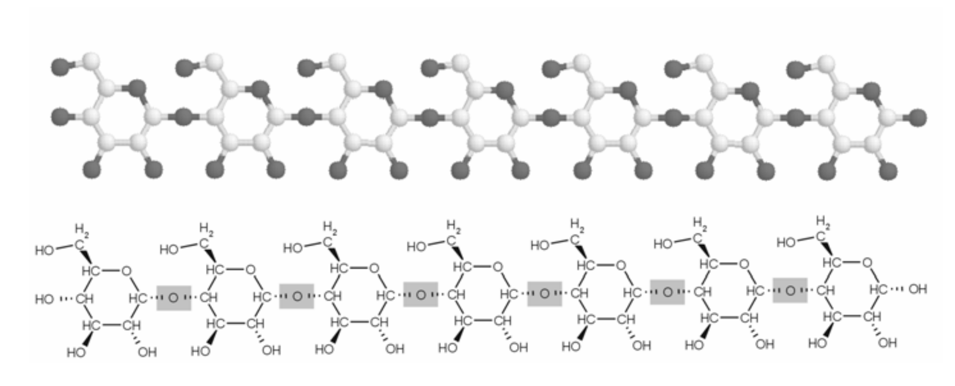


Fig. 3–6: Estructura molecular de un polisacárido.

Los carbohidratos tienen fundamentalmente dos funciones dentro de la célula vegetal. La primera es estructural y la segunda en como reserva de energía. Como fuente de reserva los más importantes son la **glucosa**, la **amilosa** y la **amilopectina** (estos dos últimos forman el **almidón**). En la figura 3–7 se observan las estructuras de estos carbohidratos. Sin embargo existe una gran



Fig. 3–7: Estructura global de la amilosa y la amilopectina. Nótese la diferencia estructural.

variedad de otros carbohidratos utilizados como reserva energética por determinados grupos de plantas.

La función estructural es cumplida principalmente por la celulosa (principal componente de la pared celular) que se diferencia de la amilosa y la amilopectina porque está compuesta de subunidades de beta–glucosa y no de alfa–glucosa (Fig. 3–8). El enlace cruzado (Fig. 3–8) de sus subunidades proporciona a la celulosa una gran resistencia y la hace muy difícil de digerir. Es así que no son muchos los organismos capaces de digerirla y aprovechar su energía.

Lípidos

De forma similar a los carbohidratos algunos lípidos cumplen una función estructural mientras que otros tienen un papel de reservorios energéticos.

Los lípidos son compuestos aceitosos, grasos o céreos. Estos se componen principalmente de átomos de carbono e hidrógeno unidos por enlaces covalentes no polares. Debido a que son no polares estos compuestos no se disuelven en agua (que como ya se dijo es polar) y por el contrario la repelen.

Este grupo de compuestos es muy diverso y existen muchas formas de dividirlo, pero para hacer más sencilla la comprensión de sus características y funciones lo dividiremos en **aceites** y **grasas**, **fosfolípidos** y **ceras**.

Los **aceites** son en realidad un tipo de **grasas**, y las grasas son moléculas compuestas por un glicerol y un ácido graso (Fig. 3–9). El **ácido graso** (Fig. 3–10) es una molécula generalmente muy larga compuesta principalmente de una gran cantidad de carbonos enlazados entre sí (formando una cadena) y enlazados a su vez a átomos de hidrógeno. El **glicerol** (Fig. 3–11) es un alcohol compuesto por tres carbonos unidos cada uno a un oxidrilo.

Las grasas y aceites cumplen la función de reservorios energéticos dentro de las células y son muy abundantes en diversos grupos de plantas económicamente importantes.

Los **fosfolípidos** están presentes en todas las células y a diferencia de las grasas y aceites cumplen un papel fundamentalmente estructural dentro de la célula. Estas moléculas son el constituyente principal de la membrana celular y de todo el resto de membranas internas de las células.

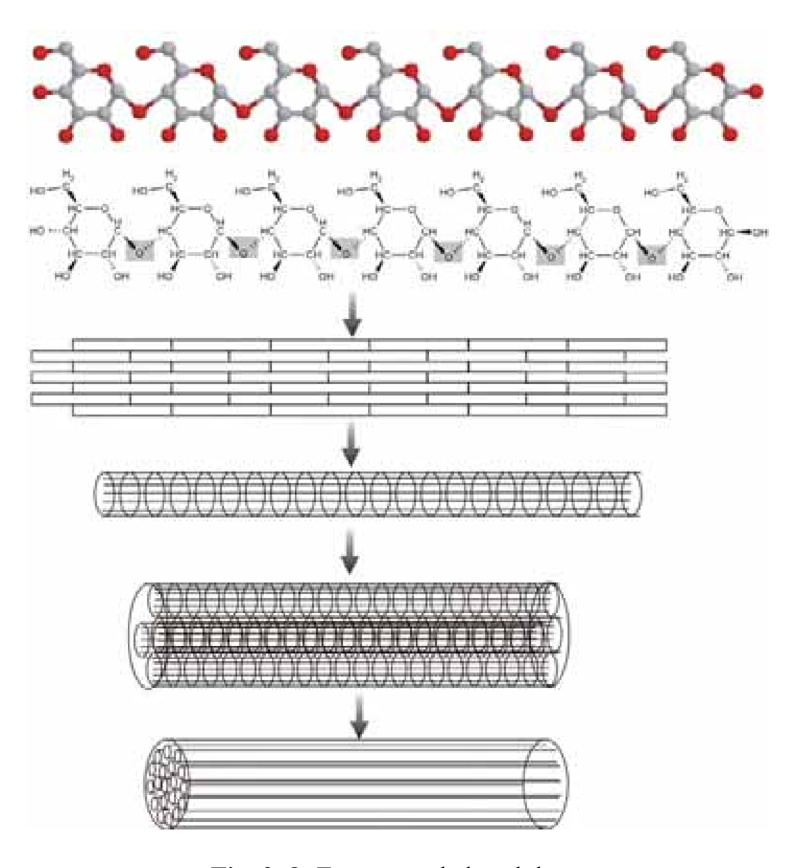


Fig. 3–8: Estructura de la celulosa.

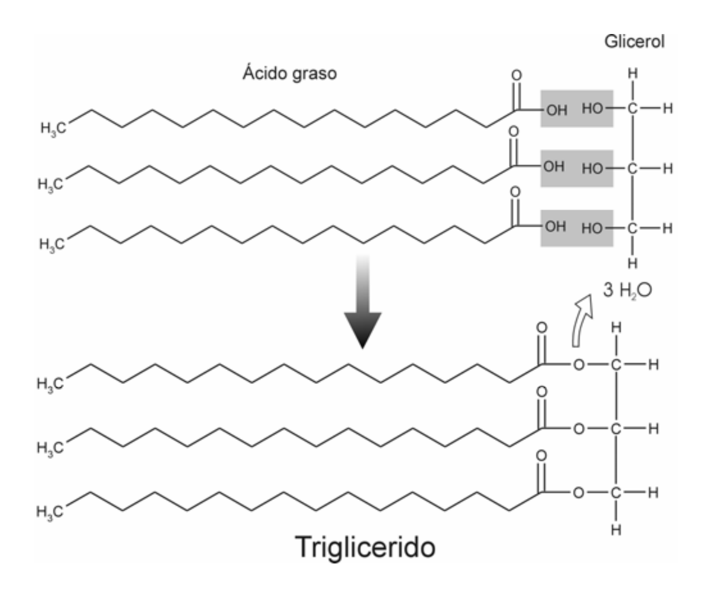


Fig. 3–9: Estructura molecular de un lípido.

Estructuralmente los fosfolípidos (Fig. 3–12) son muy similares a las grasas pero tienen propiedades anfipáticas que los hacen ideales para su papel en las membranas celulares. Los fosfolípidos contienen solo dos cadenas de ácidos grasos unidas al glicerol y un grupo fosfato en vez del tercer ácido graso. Esto permite que la molécula tenga una porción hidrofóbica y otra hidrofílica (Fig. 3–12). Sobre las propiedades de esta molécula se entrará a mayor detalle al hablar de la membrana celular.

Las **ceras** (Fig. 3–13) tienen una función estructural importante en las paredes celulares. Las ceras son embebidas por la cutina y la suberina, que son dos polímeros lipídicos, para formar barreras que evitan la pérdida de agua y otras moléculas en las partes aéreas de la planta (Raven et al. 1991).

Proteínas

Las proteínas son macromoléculas conformadas por un gran número de unidades similares entre sí. Es decir que son polímeros que se denominan **polipéptidos.** Estas moléculas cumplen dos papeles fundamentales dentro de la célula. El primero es un papel estructural y el otro es un papel funcional casi exclusivo de estas moléculas. El papel estructural de las proteínas será explicado cuando, en este mismo capítulo se describan ciertas estructuras celulares, mientras que el papel de funcional de las proteínas será visto a detalle en el *Capítulo 4*. Por ahora solo se estudiará la estructura de estas moléculas.

Las unidades que componen las proteínas se denominan aminoácidos (Fig. 3–14). Estos compuestos presentan un esqueleto básico (Fig. 3–15) con nitrógeno y un grupo R que varía de acuerdo al aminoácido. En realidad las proteínas solo se componen de 20 aminoácidos diferentes. No obstante, dado que las cadenas que forman a las proteínas están compuestas por largas secuencias de estos aminoácidos, sus características son muy diversas. En efecto, las proteínas son uno de los grupos de moléculas de más diversas características y funciones dentro la célula.

La función de las proteínas está dada por su forma tridimensional directamente relacionada con su estructura. Cuando esta forma tridimensional se pierde definitivamente, la proteína pierde su función y se dice que está **desnaturalizada**.

La secuencia de aminoácidos que compone el polipéptido o los polipéptidos que constituyen la proteína se denomina **estructura primaria** (Fig. 3–16) y es la que determina esencialmente las características de la molécula.

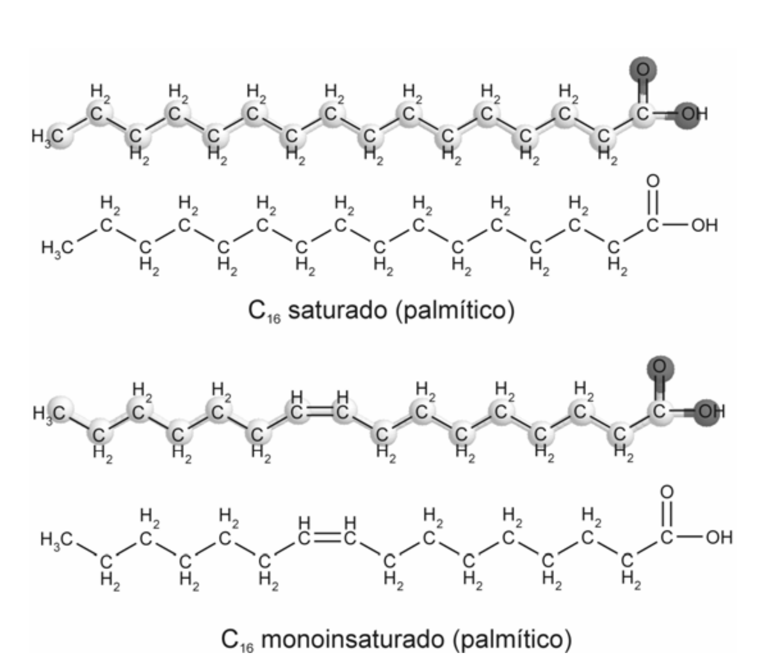


Fig. 3–10: Ácidos grasos.

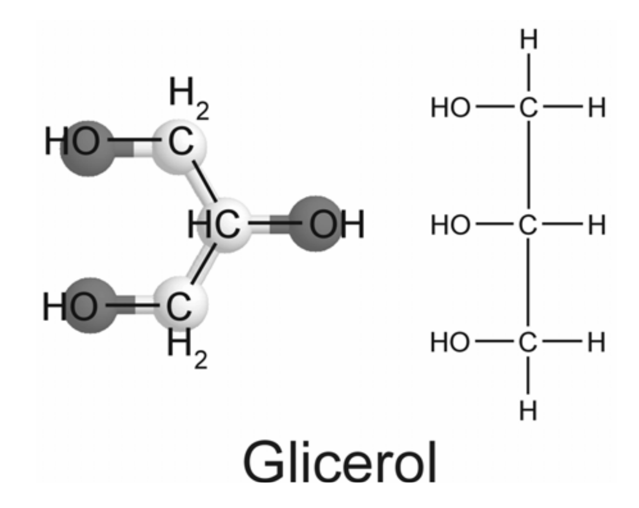


Fig. 3–11: Estructura molecular del glicerol.

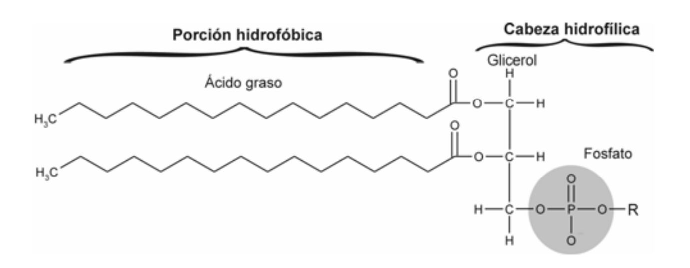


Fig. 3–12: Estructura molecular de un fosfolípido.

Las interacciones entre los aminoácidos que componen la cadena hacen que la cadena se doble y enrolle de formas diferentes de acuerdo a la estructura primaria. A este doblado y enrollado del polipéptido se denomina **estructura secundaria** (Fig. 3–17) y se sostiene principalmente por los puentes de hidrógeno entre aminoácidos.

Las porciones del polipéptido dobladas y enrolladas interactúan entre sí dando a la totalidad del polipéptido una estructura tridimensional determinada. A esto se conoce como **estructura terciaria** (Fig. 3–18).

Muchas proteínas se componen de más de un polipéptido y los polipéptidos que las componen se unen entre sí de una forma dada, a lo que se conoce como **estructura cuaternaria** (Fig. 3–19).

Nucleótidos

Estos compuestos son vistos de una forma mucho más amplia en el *Capítulo 6* pero ahora es conveniente ver su estructura molecular en general.

Los nucleótidos (Fig. 3–20) son moléculas que se componen de una molécula de azúcar (ribosa, un monosacárido) enlazada a una base nitrogenada que puede variar. Los nucleótidos son la unidad primaria que forma los **ácidos nucleicos** que constituyen el ADN y todas las formas de ARN. Sin embargo, las funciones de los nucleótidos van aún más allá. Existen otras moléculas como ATP, GTP y otras, cuya estructura e importancia será analizada en el siguiente capítulo (véase *Capítulo 4*).

La Célula

El termino célula ha sufrido con el tiempo algo de variación en su significado pero su utilización por primera vez se lo atribuye a Hooke en 1665 (Smith & Wood 1997).

Aunque en la actualidad existe algo de discusión sobre el límite entre lo vivo y lo no vivo, se suele hablar de la célula como la unidad más pequeña de la vida. Es decir, que la célula es el nivel de organización más bajo al que se puede hablar de vida. Por ello a la célula se la considera como la unidad funcional y estructural de la vida, y todos los organismos deben tener al menos una célula para ser considerados seres vivos. A los organismos que solo tienen una célula se los denomina **unicelulares**, mientras a los que tienen más de dos células se los denomina organismos **pluricelulares.**

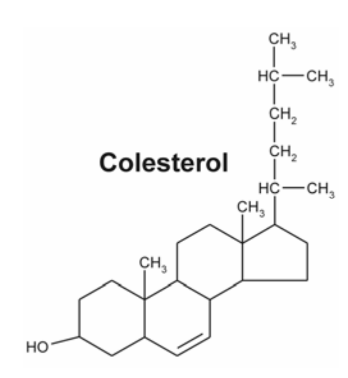


Fig. 3–13: Estructura molecular del colesterol.

Existen células de muy variadas características y tamaño. Sin embargo todas las células comparten ciertas características fundamentales que permiten, hasta cierto punto, diferenciar a una célula de otros agregados de moléculas.

De acuerdo a sus características se ha agrupado a las células en **procariotas** y **eucariotas** (Tabla 3–1). Al grupo de las eucariotas se lo divide en **células vegetales** y **células animales** (Tabla 3–2). A continuación nos abocaremos enteramente a las células vegetales (Fig. 3–21), aunque como se ve en el Tabla 3–2 muchas características son comunes a ambas.

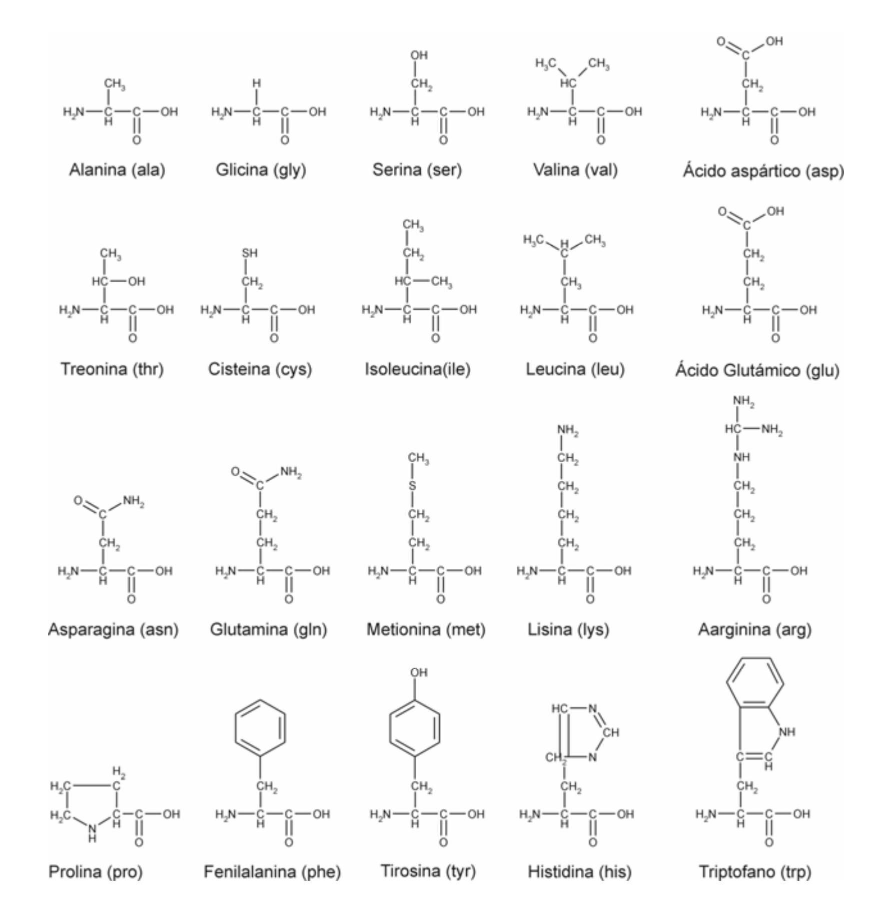


Fig. 3–14: Estructura molecular de los veinte L–aminoácidos presentes en los organismos vivos.

Tamaño de la célula

El alumno podría pensar cual es la justificación para que las células sean tan pequeñas en la mayor parte de las plantas. La explicación está asociada a la importancia de la relación del volumen con la superficie de la célula.

El tamaño de las células está limitado por un lado por la necesidad de albergar el ADN y todas las estructuras necesarias para su supervivencia. Es decir que se podría hablar de un tamaño mínimo (Campbell et al. 1994). Por el otro lado, la célula esta limitada en su tamaño por la superficie suficiente para incorporar las substancias que requiere. Aunque es cierto que una célula más grande tiene mayor superficie, ésta en realidad es menor con relación a su volumen. Por ello las células suelen ser relativamente pequeñas o más correctamente suelen tener un volumen relativamente pequeño de citoplasma.

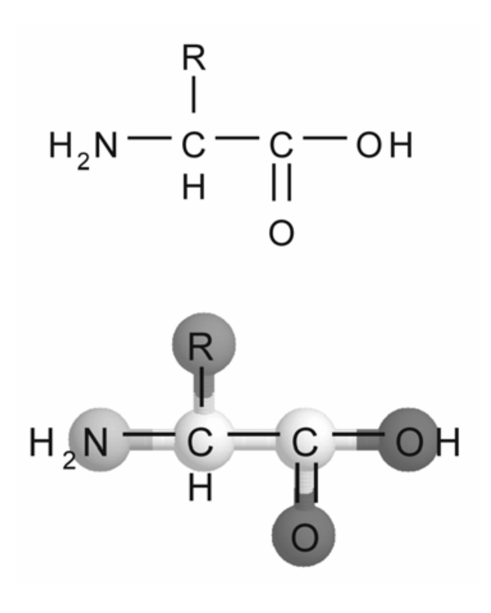


Fig. 3–15: Esqueleto característico de los aminoácidos.

La importancia del volumen del citoplasma suele estar asociada a los requerimientos de la célula. Es así que una célula con mayor cantidad de citoplasma

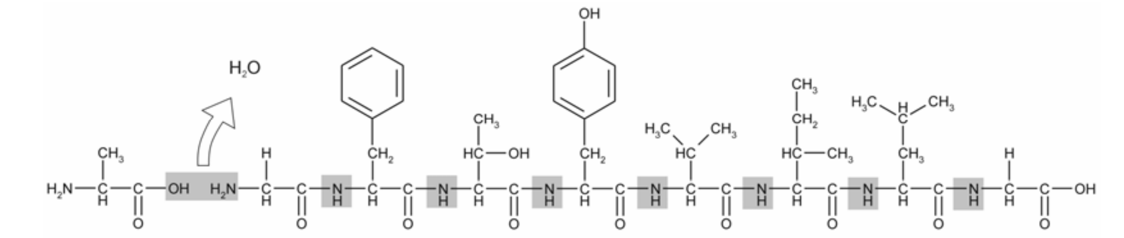


Fig. 3–16: Estructura molecular de un polipéptido. Estructura primaria de las proteínas.

suele tener mayores requerimientos, ya que se puede considerar que el citoplasma es relativamente "costoso".

En las plantas el problema del volumen del citoplasma es en buena parte resuelto, como se verá más adelante, por la vacuola, cuyo contenido es comparativamente "barato".

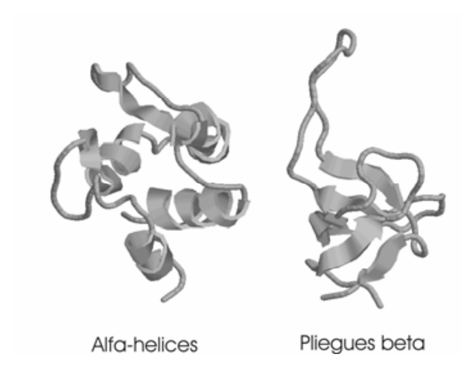


Fig. 3–17: Estructura secundaria de las proteínas.

La pared celular

Esta es una de las estructuras distintivas de las células vegetales (Fig. 3–21). La pared celular es una estructura rígida que otorga importantes propiedades a la célula. Está compuesta principalmente de celulosa, que está formada por sub unidades de **beta glucosa** (Fig. 3–5), lo que diferencia a la celulosa del almidón ya que este posee sub unidades de **alfa glucosa** (Fig. 3–5). El hecho de que la celulosa posea enlaces beta provoca una configuración diferente a la de la amilosa y a la de la amilopectina y hace que este polisacárido sea mucho más resistente a la lisis. En efecto, sólo unos pocos microorganismos son capaces de degradar la celulosa.

Las moléculas de celulosa se colocan unas paralelas a las otras y se unen entre si por puentes de hidrógeno formando **microfibrillas** (Fig. 3–8). Las microfibrillas se unen para formar unas finas hebras que a su vez se unen y enrollan entre sí para formar una especie de "cable" también denominados **macrofibrillas** (Raven et al. 1991). Estos finos "cables" son de asombrosa resistencia y se entrecruzan formando lo que se conoce como matriz de la pared celular. Además de la celulosa, la pared celular contiene hemicelulosa, pectinas y lignina en considerable cantidad.

Las paredes celulares tienen diversas e importantes funciones. Quizá la más aparente es la de sostén, que sin ser una función específica de todas las células vegetales es una función de considerable importancia para el organismo en su conjunto y también para la célula. La pared seguramente tiene una función protectora, aislante, además de evitar la explosión o implosión la célula por la entrada o salida de agua. Por otro la pared celular cumple funciones en la absorción, transporte, secreción de sustancias y como lugar para la actividad digestiva o lisosómica.

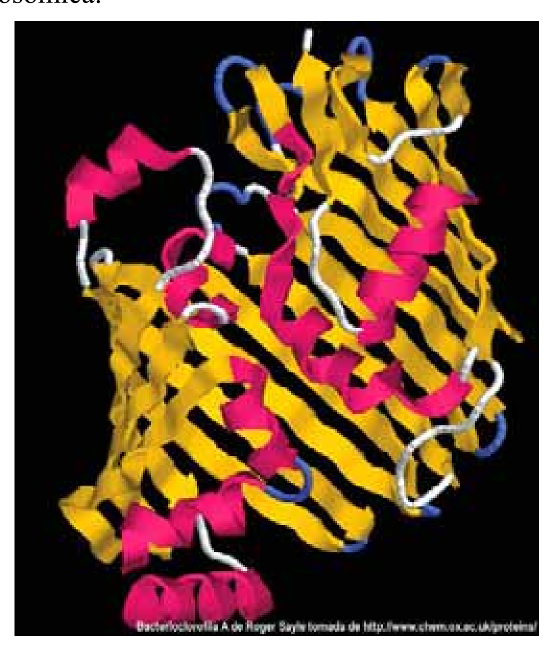


Fig. 3–18: Estructura terciaria de las proteínas (dibujado a partir de chlorophyll.pdb).

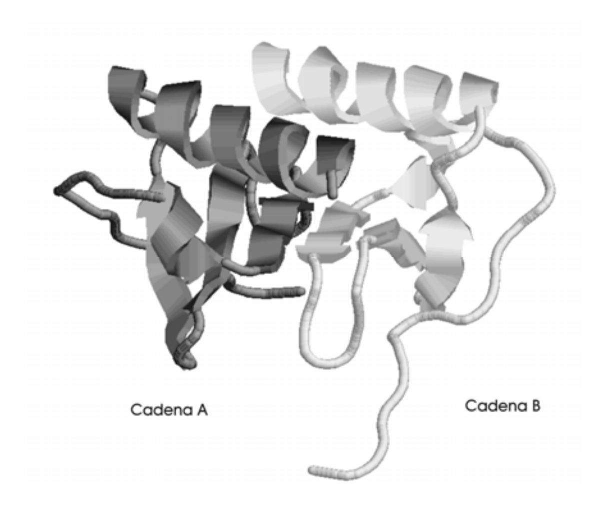


Fig. 3–19: Estructura cuaternaria de las proteínas. Nótese como las cadenas A y B interactúan para formar la proteína funcional.

La membrana citoplasmática

Sin duda una de las estructuras de mayor importancia para las células en general es la membrana citoplasmática (Fig. 3–21). Esta **membrana de unidad** es, dentro de la célula, la que más claramente presenta la disposición oscura–clara–oscura.

La membrana citoplasmática está constituida principalmente por fosfolípidos y proteínas (Fig. 3–22), siendo los primeros los más abundantes. Los fosfolípidos aprovechan que tienen una porción hidrofóbica y otra hidrofílica para formar la bicapa liplídica (Fig. 3–22). Esta bicapa lipídica se ha podido lograr en laboratorio aislando los fosfolípidos, lo que sugiere que no existe un costo evidente en la formación de la bicapa. Es decir, que la formación de la bicapa se puede dar simplemente por las características de los fosfolípidos.

Los fosfolípidos confieren a la bicapa una considerable impermeabilidad a muchas substancias, que es lo que en parte hace a la membrana citoplasmática altamente selectiva. Una molécula debe ser capaz de pasar por la capa polar y por la no polar, que se forma en el centro de la membrana, para ingresar a la célula (Fig. 3–22).

Otro abundante componente de la membrana es, como ya se dijo, el conjunto de proteínas. Las proteínas se encuentran insertas o unidas a la membrana citoplásmica. Algunas de estas proteínas la atraviesan por completo otras solo están insertas en un lado y otras están unidas a la membrana sin llegar a estar insertas dentro de estas.

Son precisamente las proteínas las que más selectiva hacen a la membrana en cuanto a su permeabilididad. Muchas de las proteínas abren canales altamente específicos para ciertas moléculas, mientras que otras incluso transportan moléculas de un lado al otro. El transporte de moléculas en la membrana puede requerir de consumo energético o no, pero de ello se hablará en el *Capítulo 4*. Lo importante de destacar a esta altura es que estas proteínas son altamente específicas en los compuestos que transportan y de ellas depende, casi totalmente, la homeostasis de la célula.

Por otra parte, la membrana citoplasmática está envuelta en la coordinación de la síntesis y ensamblaje de las microfibrillas de la pared celular. Además, descifra señales hormonales y ambientales altamente relacionadas con el crecimiento, desarrollo y diferenciación de las células.

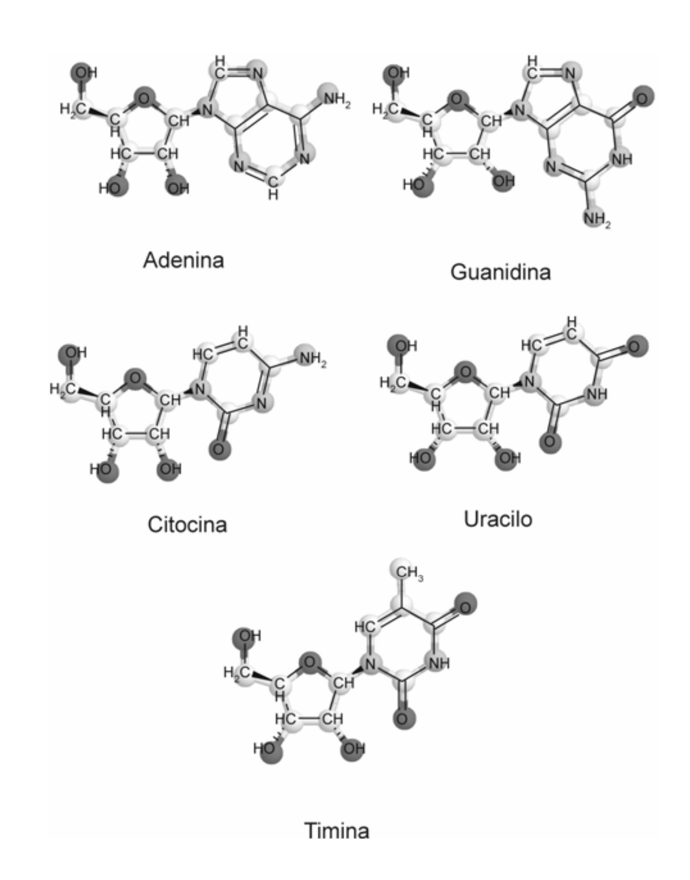


Fig. 3–20: Los cinco nucleótidos que conforman los ácidos nucleicos.

Tabla 3–1: Comparación entre células procariotas y eucariotas.

Característica	*Célula Procariota*	*Célula Eucariota*
Núcleo	No definido	Definido por la envoltura nuclear
Cromosoma	Único, circular, covalente y cerrado. Asociado a proteínas HLP	Pueden haber uno o más cromosomas lineales y bicatenarios. Asociado a proteínas histonas
Ribosomas	Más pequeños	Más grandes
Organelos	Ninguno membranoso	Mitocondrias, Cloroplastos, Plastos, Retículo endoplasmático, Aparato de Golgi, Lisosomas, Vacuolas y Centríolos
Membrana celular	Membrana de unidad, composición variable	Membrana de unidad lípido proteica
Pared celular	Compuesta de peptidoglucanos, de estructura variable	Compuesta de celulosa y lípidos
Tamaño	1 a 10 micrómetros	10 a 100 micrómetros

Tabla 3–2: Comparación entre células animales y vegetales.

Característica	*Célula Animal*	*Célula Vegetal*
Forma	Esférica a amorfa	Esférica a poliédrica
Membrana celular	De unidad, lípido protéica, con desmosomas	De unidad, lípido protéica, con punteaduras y plasmodesmos
Pared celular	Ausente	Presente
Mitocondrias	Presentes	Presentes
Cloroplastos	Ausentes	Presentes
Vacuolas	Pequeñas cuando presentes	En células jóvenes pequeñas y numerosas y en células adultas sólo una de gran tamaño
Aparato de Golgi	Presente	Presente
Lisosomas	Presentes	Presentes
Retículo endoplasmático	Unificado	Fraccionado
Centríolos	Presentes	Ausentes
Metabolismo	Heterótrofas	Generalmente autótrofas

El núcleo

El núcleo (Fig. 3–21) distintivo de las células eucariotas, éste contiene ADN cromosómico, que es el que controla la mayor parte de la producción de proteínas dentro de la célula y a través de ello la controla casi del todo. Por su importancia y complejidad el núcleo no debe ser considerado como un organelo membranoso más, sino como una parte principal de la célula. Como se verá más adelante el núcleo no solo cumple una función esencial para la célula como otros organelos, sino que en el material genético que contiene guarda la esencia misma de la célula y sus características (véase *Capítulo 6*).

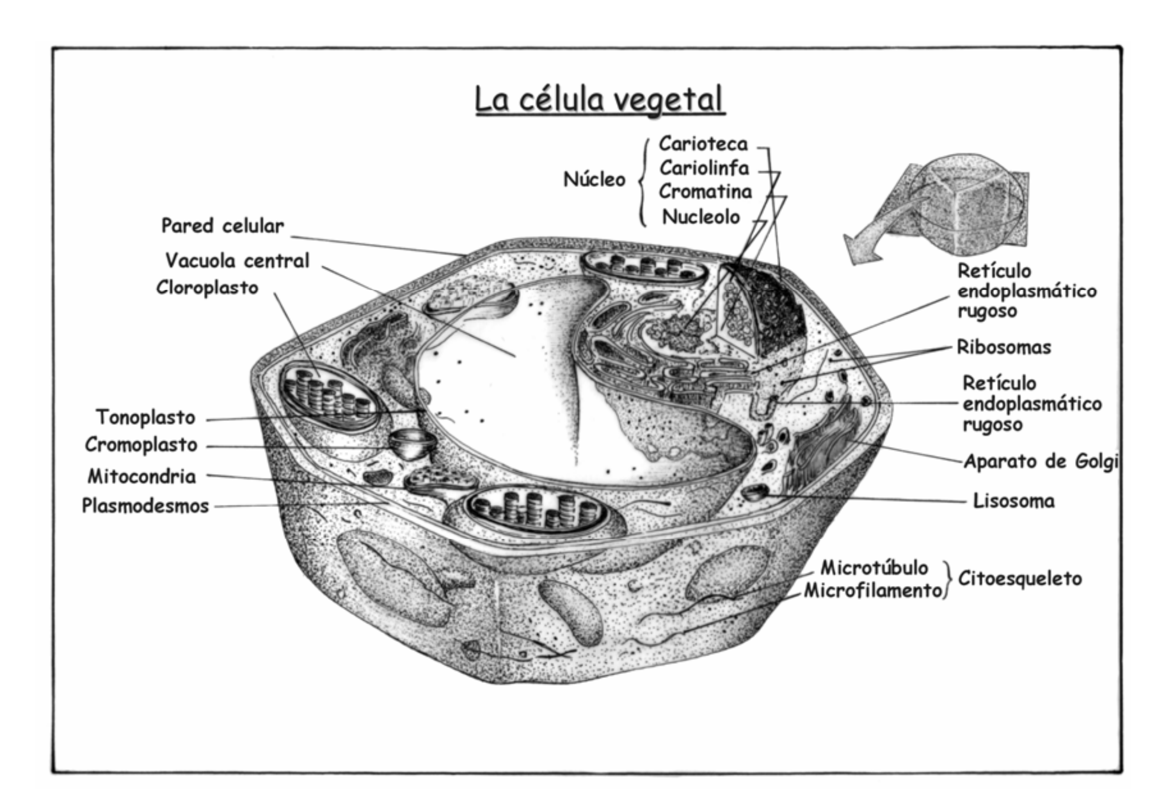


Fig. 3–21: La célula vegetal (ilustración: Carlos Maldonado).

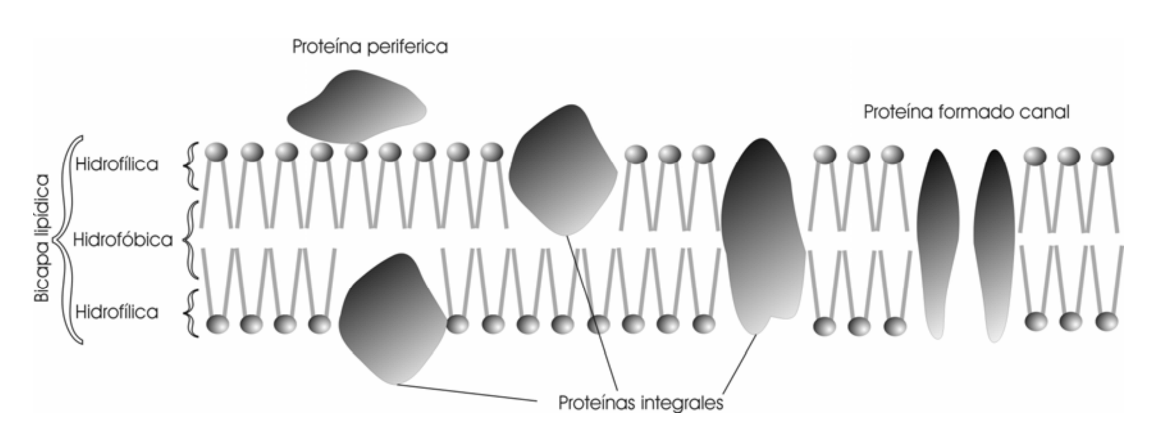


Fig. 3–22: Estructura tipo de la membrana celular, compuesta por fosfolípidos y proteínas.

Consta también de una membrana que lo separa del citoplasma, pero esta membrana de unidad se encuentra en una doble capa. Es decir que hay dos membranas de unidad que rodean al núcleo. A este par de membranas de unidad se las denomina **envoltura nuclear** (Fig. 3–23). La envoltura nuclear se encuentra interrumpida por un significativo número de poros circulares (Fig. 3–23). Alrededor de los poros las dos membranas que forman la envoltura nuclear se unen. Estos poros tienen una muy compleja estructura que por ahora no requiere ser comprendida, pero es importante destacar que no son simples huecos en la envoltura nuclear y por el contrario son muy selectivos en lo que dejan pasar.

Dentro del núcleo generalmente solo se puede observar una o más estructuras oscuras y esféricas denominadas **nucleolos.** Los nucleolos son el lugar donde se forma el ARN ribosómico que se describirán más adelante.

El citoplasma

El citoplasma o **citosol** (Fig. 3–21) al ser observado bajo el microscopio óptico no parece ser más que el

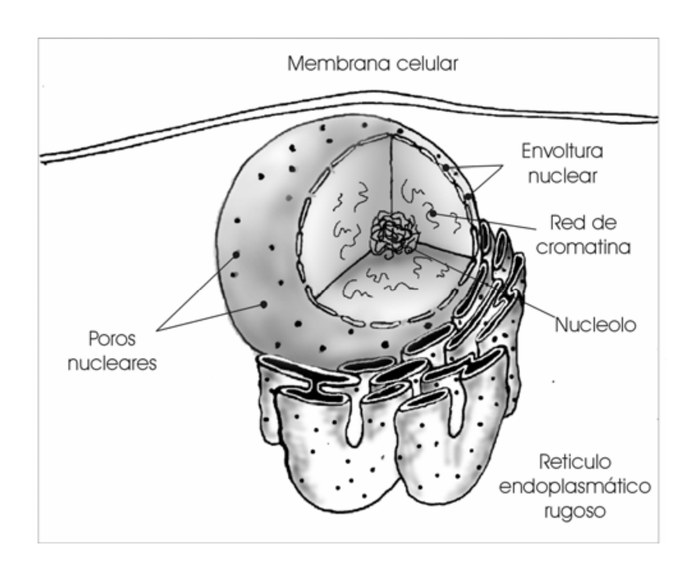


Fig. 3–23: Estructura del núcleo (ilustración: Cecilia Pabón).

medio acuoso que rodea al núcleo y a los demás organelos. Sin embargo el citosol contiene una serie de estructuras y moléculas que cumplen importantes funciones en la célula.

El citosol puede constituir incluso más del 55% del volumen celular y aproximadamente un 20% de este son proteínas (Smith & Wood 1997). Su consistencia es muy semejante a la de un gel. Dentro del mismo ocurren una enorme cantidad de reacciones y muchos procesos como la respiración celular (véase *Capítulo 4*) empiezan en este medio. Además, puede presentar numerosos tipos de inclusiones y gránulos con diferentes funciones como de reserva energética.

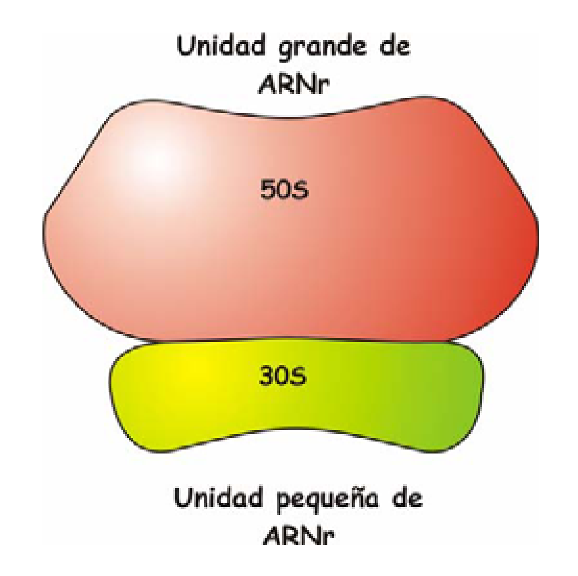


Fig. 3–24: Estructura de los ribosomas eucariotas.

Entre las proteínas más importantes dentro del citosol están las constituyen el **citoesqueleto**. Esta estructura es una compleja e intrincada red tridimensional que atraviesa a célula en todas direcciones. Tiene una gran importancia en la movilidad de substancias dentro de la célula. Está relacionado, por ejemplo, con el movimiento y distribución de los organelos dentro de la célula cuando ésta se está dividiendo o durante el desarrollo embrionario (Smith & Wood 1997). Además, el citoesqueleto está relacionado con la separación de los cromosomas en la división celular y la formación de la pared celular durante la citocinesis (véase *Capítulo 7*).

El citoesqueleto está compuesto por tres tipos de fibras: Los **microfilamentos**, los **filamentos intermedios** y los **microtúbulos.**

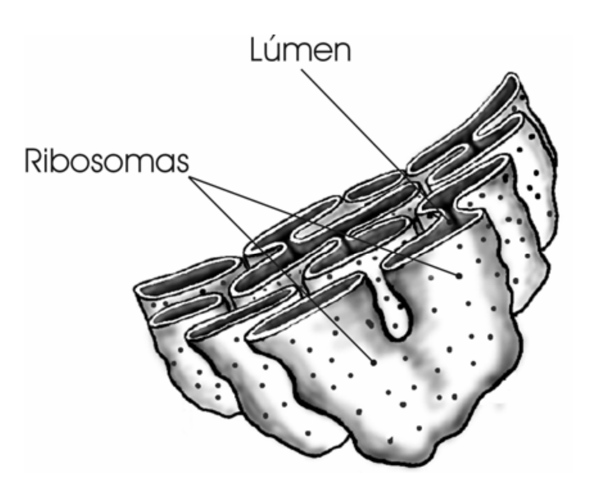


Fig. 3–25: Estructura del retículo endoplasmático rugoso (ilustración: Cecilia Pabón).

Los microfilamentos son muy abundantes y están constituidos por la proteína **actina** que es una de las más abundantes dentro de la célula (Smith & Wood 1997). Estas fibras no son en absoluto estáticas y por en contrario mantienen un considerable movimiento, siendo el componente dinámico más importante del citoesqueleto (Smith & Wood 1997), sin embargo esto ha sido estudiado principalmente en células musculares.

Los microtúbulos son estructuras largas, muy finas y de aspecto cilíndrico. Estas estructuras están formadas por un gran número de subunidades de **tubulina**. Estas subunidades forman largos

filamentos que en un número de 13 rodean un hueco central. Es este conjunto y no cada filamento individual, es lo que se conoce como microtúbulo. Se cree que están involucrados en el ordenamiento y direccionalidad del crecimiento y al igual que los microfilamentos están asociados con la formación de la pared celular y con los movimientos de los organelos.



Fig. 3–26: Estructura del retículo endoplasmático

Los ribosomas

Los ribosomas son gránulos prominentes compuestos de agregados altamente complejos de ARN y proteínas (Smith & Wood 1997) y son los gránulos celulares más numerosos.

Los ribosomas se forman en el nucleolo a partir de ARNr y proteínas ribosómicas. Están formados por dos subunidades una de mayor tamaño que la otra (Fig. 3–24). Los ribosomas se encargan de parte del proceso de síntesis de proteínas, siendo el sitio de traducción de la información genética. El proceso de traducción será visto a más detalle en el *Capítulo 6*.

El retículo endoplasmático

Existen dos tipos de retículo endoplasmático en la célula (Fig. 3–21). El más abundante es el **retículo endoplasmático rugoso** (Fig. 3–25) o también denominado **RER,** que se encuentra muy próximo al núcleo. El otro es el **retículo endoplasmático liso** (Fig. 3–26) también conocido como **REL**.

El retículo endoplasmático rugoso recibe su nombre debido a su aspecto bajo el microscopio electrónico. Este aspecto, como se muestra en la figura 3–30, se debe a la presencia de numerosos ribosomas en la superficie externa del retículo.

El RER no es más que una red de sacos aplanados formados por una membrana de unidad y relacionados a la envoltura nuclear. Este organelo tiene fundamentalmente dos funciones. La primera es la producción de más membrana de unidad. Sus productos, principalmente proteínas, son transportados hacia la membrana citoplasmática y luego insertos en la misma. La otra importante función es la producción de proteínas para su exportación de la célula, en asociación con los ribosomas.

El REL es muy similar al RER pero no se encuentra asociado a la envoltura nuclear ni se encuentra rodeado de ribosomas. A ello se debe su aspecto liso. Su principal función es la producción de lípidos dentro de los que se encuentran las grasas, aceites, fosfolípidos y esteroides.

Aparato de Golgi

El aparato de Golgi (Fig. 3–27) es una pila de sacos aplanados formados de membrana de unidad (Campbell et al. 1994). Cada uno de estos sacos se denomina **dictiosoma** o **cuerpos de Golgi**. Los dictiosomas son sacos aplanados en forma de discos o cisternas.

El aparato de Golgi cumple una serie de funciones, muchas de las cuales están asociadas a las del retículo endoplasmático. Este aparato está muy

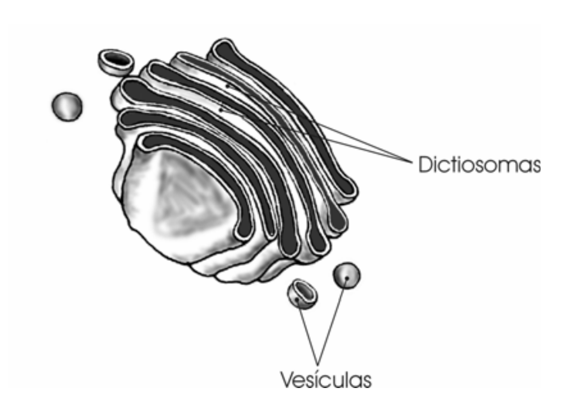


Fig. 3–27: Estructura del aparto de Golgi (ilustración: Cecilia Pabón).

relacionado con la secreción de substancias ya que es el encargado de modificar y empaquetar las substancias a ser secretadas (provenientes principalmente del retículo endoplasmático). Además, en la mayoría de las plantas superiores están relacionados con la síntesis de la pared celular (Raven et al. 1991).

Se podría decir que el aparto de Golgi presenta dos caras una en la que recibe las **vesículas** (pequeño saco de membrana de unidad) provenientes del retículo endoplasmático y otra por la que exporta otras vesículas conteniendo las substancias provenientes del RE pero ya modificadas y empaquetadas para su exportación.

La vacuola

Las vacuolas son sacos membranosos que se presentan con diferentes formas y tamaños mientras la célula vegetal es inmadura. Una vez que la célula madura estas crecen y se fusionan para formar una gran vacuola que ocupa el 90 % del volumen total de la célula (Fig. 3–21). Las vacuolas están llenas de un líquido denominado **jugo celular** (Raven et al. 1991). A la membrana celular de la vacuola se la denomina **tonoplasto** o **membrana vacuolar**.

La membrana contiene típicamente una mezcla de agua, sales, azúcares y algunas proteínas. El contenido vacuolar suele considerarse como un contenido "barato" en comparación al citoplasma. Una de sus funciones es que el citoplasma aumente su superficie de contacto y por consiguiente permite un cierto ahorro a la célula. Es decir, que la vacuola hace que el citoplasma se encuentre en menor cantidad pero con una mayor superficie (Raven et al. 1991).

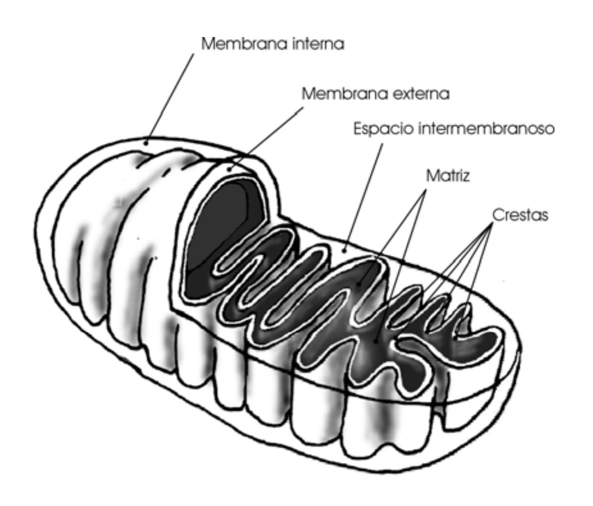


Fig. 3–28: Estructura de una mitocondria tipo (ilustración: Cecilia Pabón).

Las vacuolas sirven como almacenes de ciertos compuestos para la célula. También aíslan del resto del citoplasma productos secundarios tóxicos del metabolismo como alcaloides y otras substancias toxicas. Además, la vacuola suele acumular pigmentos que dan determinadas coloraciones a las células. Finalmente las vacuolas están involucradas con el reciclaje de una serie de moléculas.

Las mitocondrias

La mitocondria es uno de los organelos más complejos de la célula (Fig. 3–21). Aunque aún se discute sobre el tema, se cree que las mitocondrias fueron alguna vez células procariotas independientes que fueron incorporadas dentro la célula eucariota para entrar en una relación simbiótica. Con el tiempo las mitocondrias habrían pasado a perder del todo su independencia y a ser parte integral de las células eucariotas. Sin embargo, como se verá a continuación las mitocondrias conservan algo de independencia y evidencia que soporta la hipótesis de que alguna vez fueron bacterias independientes.

Las mitocondrias están delimitadas por dos membranas celulares (Fig. 3–28). La membrana más interna está muy arrugada con profundos pliegues que forman proyecciones hacia el interior del organelo. A las proyecciones se las denomina **crestas** y todos estos pliegues tienen la importante función de incrementar la superficie de la membrana interna. El incremento de la superficie de esta membrana es de suma utilidad, ya que es precisamente en esta membrana que ocurre uno de los procesos más importantes para la respiración celular (véase el *Capítulo 4*). Esta membrana interna tiene un gran número de proteínas insertas, que son las que están involucradas en la respiración celular.

Entre las dos membranas existe un espacio denominado **espacio intemembranal**. Es en éste espacio donde se acumulan los iones de hidrógeno, produciendo una diferencia de concentración extremadamente importante para la respiración (véase *Capítulo 4*).

Al espacio interno de la mitocondria se lo denomina **matriz mitocondrial**. Este espacio contiene una serie de proteínas involucradas con la respiración

celular pero además contiene una serie de otras estructuras que sugieren que este organelo deriva de una bacteria. La matriz contiene ribosomas del mismo tamaño que los de las bacterias (más pequeños que los de las células eucariotas), proteínas mitocondriales propias, ADN y ARN. Todo esto constituye evidencia significativa de que sugiere que aún existe cierta independencia de estos organelos. Además, se ha encontrado que para que una célula tenga mitocondrias después de la división celular es necesario que estas se repliquen al tiempo que ocurre la división celular.

Los cloroplastos

Los cloroplastos (Fig. 3–21) son organelos muy similares a las mitocondrias y se cree que su origen sería similar. Es decir, que también los cloroplastos fueron alguna vez bacterias (a las que son muy similares), pero en algún momento su estrecha relación simbiótica con la célula eucariota permitió que esta última tomara mayor control sobre los cloroplastos perdiendo estos la mayor parte de su independencia.

Los cloroplastos forman parte de un grupo de organelos denominados **plastos** o **plástidos**. Generalmente los cloroplastos son mucho más grandes que las mitocondrias y es por ello que su observación en el microscopio óptico no resulta tan difícil. Una célula vegetal puede tener desde un solo cloroplasto hasta más de 100 (Smith & Wood, 1997). Su función es la de llevar a cabo la fotosíntesis y su color verde se debe precisamente a la abundante presencia de clorofila, que es el pigmento fotosintético más importante en las plantas (véase *Capítulo 4*).

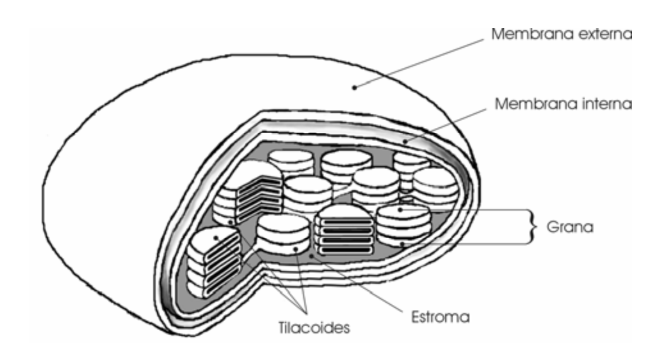


Fig. 3–29: Estructura de un cloroplasto tipo (ilustración: Cecilia Pabón).

El cloroplasto (Fig. 3–29), al igual que la mitocondria, está delimitado por dos membranas de unidad que juntas se conocen con el nombre de **envoltura** (Smith & Wood 1997). En el interior del cloroplasto se encuentra un espacio que contiene una solución acuosa con numerosas moléculas disueltas. A este especio se lo denomina **estroma**.

Quizá lo más distintivo del cloroplasto que la membrana interna del mismo lo atraviesa de extremo a extremo formando lo que se conoce como la membrana **tilacoidal**. Esta membrana, que no deja de ser la membrana interna del cloroplasto, encierra pequeños espacios denominados **lumen** (Smith & Wood 1997). Como se observa en la figura 3–35, la membrana tilacoidal forma una serie de sacos en forma de discos y apilados como monedas. A cada saco se lo denomina **tilacoide** y al conjunto de sacos se lo denomina **grana**. La mayor parte de los pigmentos fotosintéticos se encuentran precisamente en las membranas de los tilacoides.

En el estroma se encuentran a menudo gotitas de lípidos y granos de almidón que sirven al cloroplasto como una reserva temporal de energía. Además, en el estroma también se encuentran varias estructuras que recuerdan a las bacterias y sacan a relucir una cierta independencia del organelo. Al igual que las mitocondrias poseen ribosomas tan pequeños como los bacterianos y uno o más nucleoides de ADN, que asemejan al ADN libre de las bacterias. Es decir, que no presenta envoltura nuclear, no está asociado a histonas (proteínas asociadas al ADN eucariótico, véase *Capítulo 6*) y generalmente tiene una forma circular. Los cloroplastos son capaces de sintetizar su propio ARN y por consiguiente al menos parte de sus proteínas. No obstante, se cree que todo esto se realiza bajo el control del ADN cromosómico (el que se encuentra en el núcleo de la célula formando los cromosomas) de la célula.

A pesar de que la función principal de los cloroplastos es la realización de fotosíntesis, función que sostiene prácticamente toda la vida sobre la tierra, los cloroplastos también están implicados en la síntesis de aminoácidos y ácidos grasos (Raven et al. 1991).

Otros plastos

A parte de los cloroplastos existen otros plástidos que se diferencian de los cloroplastos tanto en sus estructuras como en su función. Estos se dividen de

la siguiente manera: **cromoplastos**, **leucoplastos**, **proplastos** y **etioplastos**.

Los cromoplastos se caracterizan por ser pigmentados con carotenoides, que son responsables de los colores amarillos, naranja o rojo de hojas, tallos, flores, etc. Los cromoplastos carecen de clorofila pero se pueden desarrollar a partir de cloroplastos con la desaparición de éste pigmento. Su función no es totalmente comprendida pero se considera que tiene funciones diversas como atraer insectos hacia las flores.

Los leucoplastos a diferencia de los cloroplastos y los cromoplastos carecen de pigmentos y tienen una función de reservorio energético. A este grupo se lo subdivide de acuerdo a la sustancia que almacenan, proteínas, aceites o almidón. Entre estos destacan los **amiloplastos** que son los que almacenan y sintetizan almidón. Estos plastos se encuentran en órganos como las raíces porque al exponerse a la luz pueden transformarse en cloroplastos.

En las células jóvenes se encuentran los proplastos que son pequeños plastos generalmente incoloros e indiferenciados. Es decir, que aún no se los puede ubicar en ninguno de los grupos anteriormente explicados. Estos plastos luego se diferencian para formar cromoplastos, leucoplastos o cloroplastos.

El último grupo de plastos está formado por plastos que empezaron a diferenciarse en cloroplastos pero cuya diferenciación fue detenida por falta de luz. Los etioplastos tienen unos cuerpos formados por membranas al igual que los cloroplastos pero son cristalinos y se denominan **cuerpos prolamenares**. Si un etioplasto recibe nuevamente luz entonces esos cuerpos prolamenares se convierten en tilacoides.

LOS PRINCIPALES TEJIDOS DE LA PLANTA

Las células de las plantas no son todas iguales y por el contrario presentan muy variadas características y por ello se las puede agrupar en tipos de células. Estos tipos de células no suelen encontrarse aisladas, sino más bien agrupadas para así cumplir una función específica dentro del organismo. Estas agrupaciones de células con semejantes características y con un propósito común dentro del organismo se denominan tejidos.

Según Raven y colaboradores (1992), los tejidos pueden dividirse en dos grupos: los **tejidos simples** y los **tejidos complejos**. Los primeros vendrían a ser los que se componen de un solo tipo de célula mientras que los complejos serían los que se componen de dos o más tipos de células.

Los tejidos vegetales pueden ser muy diferentes de grupo en grupo de plantas pero para no entrar en excesiva complejidad solo se verán, a continuación, los principales tejidos de las plantas “superiores”, es decir, de las plantas vasculares.

Los meristemas y el crecimiento primario

La mayor parte de las plantas se mantienen creciendo toda su vida. Es decir, que a diferencia de los animales, las plantas tienen un crecimiento indeterminado. Esto no significa que las plantas son inmortales y por el contrario hay plantas que tienen un tiempo de vida claramente determinado. Este es el caso de las plantas **anuales** y **bianuales** que completan su ciclo vital en uno y dos años respectivamente y luego mueren. Además, de las plantas anuales y bianuales existen también las plantas cuya vida se extiende por unos pocos o muchos años sin que haya un tiempo de vida claramente definido. A estas plantas se las denomina **perennes**. Un ejemplo, a destacar en Bolivia es la *Puya raimondii*, una planta emparentada con la más conocida piña americana y que pude llegar a medir hasta 10 metros. Esta planta vive en diversas zonas del altiplano boliviano y requiere de unos 150 años para poder florecer (Raven et al. 1992).

El crecimiento indeterminado de la planta es posible gracias a los tejidos conocidos como **meristemas**. Un meristema está compuesto por células no especializadas que se dividen para formar nuevas células y tejidos. Por ello, las células que componen los meristemas suelen llamarse **células embriónicas.**

Los meristemas que se encuentran en las partes terminales de las raíces, tallos y en las axilas formando las **yemas axilares**, se denominan en su conjunto **meristemas apicales** (Fig. 3–30). La división de las células de los meristemas apicales determina un crecimiento de la planta en longitud. Este crecimiento es a lo que se denomina **crecimiento primario**.

Las células de los meristemas apicales se caracterizan por tener paredes considerablemente

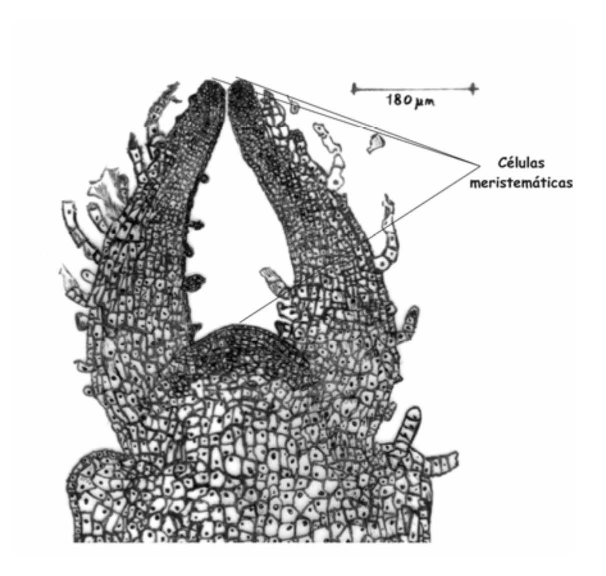


Fig. 3–30: Corte longitudinal de un meristemo apical. Las zonas más oscuras son las de mayor actividad mitótica.

delgadas, una forma poliédrica, denso citoplasma y un núcleo grande. En la figura 3–31 se muestra un esquema de la localización de los meristemas apicales tanto en la raíz como en el tallo.

Las raíces y el tallo no solo se alargan debido a que cada vez hay más células producto de la división celular de los meristemas. En la raíz por ejemplo la mayor parte de la elongación se debe a que estas nuevas células se alargan significativamente.

El crecimiento secundario

Si se observa una planta con cuidado se puede observar que las raíces y tallos no solo se alargan. Generalmente es evidente que los tallos y raíces se engrosan después de alargarse. Esto quiere decir que tienen un segundo tipo de crecimiento. A este crecimiento se lo denomina **crecimiento secundario**.

El crecimiento secundario se observa con mayor facilidad en árboles, arbustos y plantas leñosas en general. Ello se debe a que los tejidos muertos; producto del crecimiento secundario, se acumulan año tras año en una especie de capas formando lo que conocemos como madera.

El crecimiento secundario involucra a dos meristemas que no intervienen en el crecimiento primario y que por consiguiente aún no han sido mencionados. Estos meristemas son el **cámbium vascular** y el **cámbium suberógeno**.

El cámbium vascular presenta dos tipos de células, pero ambas se diferencian de las células del meristema apical en que están altamente vacuoladas y presentan morfologías distintas (Raven et al., 1992). Uno de los tipos es el de las células **iniciales fusiformes** alargadas verticalmente y el otro es el de las células **iniciales radiales** alargadas horizontalmente.

El xilema y el floema secundarios se forman precisamente a partir de la división del cámbium vascular. En las plantas dicotiledóneas (uno de los grandes grupos de las angiospermas, véase *Capítulo 5*) el cámbium vascular es muy fácilmente apreciable formando un cilindro entre el xilema y el floema (Fig. 3–32). En las plantas monocotiledóneas (uno de los dos grandes grupos de las angiospermas, véase *Capítulo 5*) el cámbium vascular no forma el cilindro o anillo pero también se lo encuentra entre el floema y el xilema.

Por otro lado la mayoría de las raíces y tallos leñosos presentan el denominado **suber** o **corcho** (Fig. 3–33). Este tejido es el que remplaza a la epidermis en su función protectora y se forma a partir del cámbium suberógeno. Además, del suber este cámbium forma la **felodermis**.

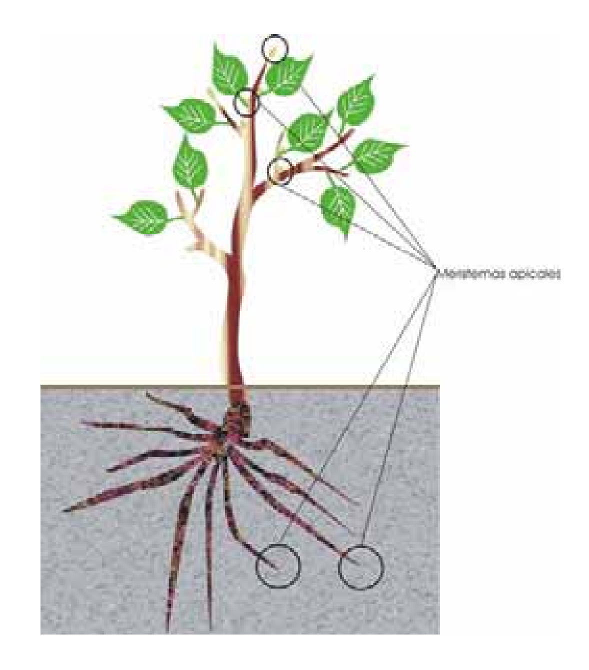


Fig. 3–31: Posición de los meristemas apicales en una planta.

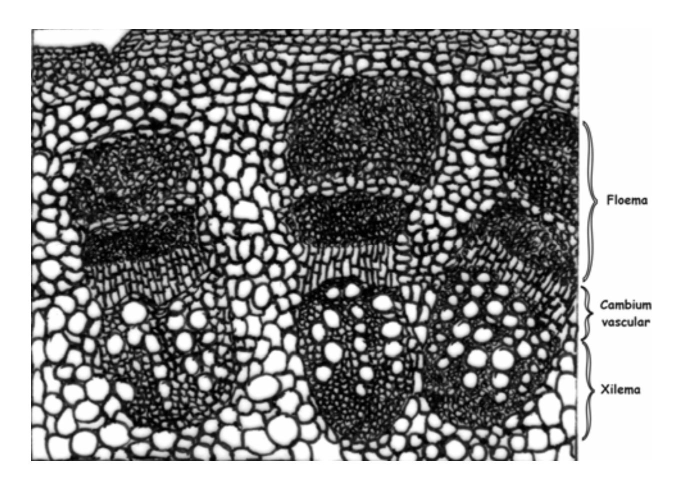


Fig. 3–32: Corte transversal del tallo de una planta dicotiledónea, que muestra el tejido vascular de la misma.

El suber, cámbium suberógeno y la felodermis forman lo que se denomina **peridermis** (Fig. 3–33). Las células de este tejido están muertas en su madurez y se encuentran dispuestas de manera muy compacta. Además, estas células están provistas de una sustancia grasa denominada **suberina**, que actúa como impermeabilizante, y también pueden lignificarse.

Parénquima

Este es el que da origen a todos los demás tejidos y se compone de **células parenquimáticas** (Fig. 3–34). Este tejido generalmente se encuentra en la corteza de los tallos y raíces. También se lo encuentra en el mesófilo de las hojas y en la pulpa de los frutos (Raven et al. 1992). Además, se encuentra este tejido alrededor de los tejidos vasculares.

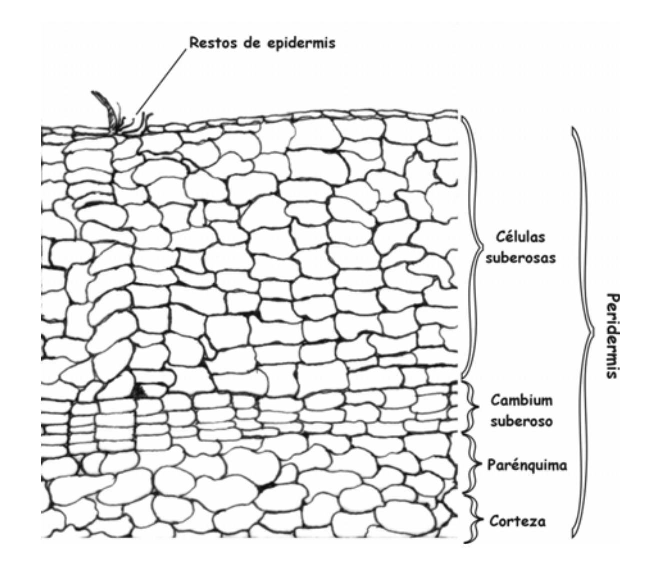


Fig. 3–33: Corte transversal de un tronco con crecimiento secundario, donde se observa la peridermis.

Las células parenquimáticas están vivas y mantienen su capacidad para dividirse y dado que son las únicas que lo hacen juegan un papel fundamental en la regeneración de tejidos dañados o en la reposición de los tejidos perdidos. Además, por consiguiente, son las que originan las regiones de crecimiento de las plantas.

Por otra parte el parénquima puede desempeñar otras funciones, como la de realizar fotosíntesis (Fig. 3–35), servir de reserva energética (Fig. 3–34) y colaborar con el transporte de agua y nutrientes dentro de la planta.

Colénquima

Este tejido se compone de **células colenquimáticas** que al igual que las células parenquimáticas se mantienen vivas (Fig. 3–36). A este tejido se lo encuentra por debajo de la epidermis de tallos, pecíolos y bordeando las venas de las hojas. Las células colenquimáticas son generalmente alargadas presentándose en órganos jóvenes en crecimiento (Raven et al. 1992). Estas células además se caracterizan por tener un engrosamiento desigual en sus paredes celulares.

Esclerénquima

A las células que componen este tejido se las denomina **células esclerenquimáticas** (Fig. 3–37). Estas pueden desarrollarse en cualquier parte del cuerpo vegetal y se caracterizan porque en la madurez las células mueren perdiendo su protoplasma (sustancia viva de la célula, pero no sus organelos). No obstante, su principal característica es que sus paredes son muy gruesas y frecuentemente lignificadas. Es por esto que la función principal de este tejido es la de sostén de los órganos de la planta.

Las células esclerenquimáticas no son todas iguales y se pueden diferenciar dos tipos de estas células. Por un lado están las denominadas **fibras** que son células muy alargadas y delgadas que suelen formar haces o cordones. Estas figuras son económicamente importantes porque son las utilizadas para la elaboración de textiles. Las otras células

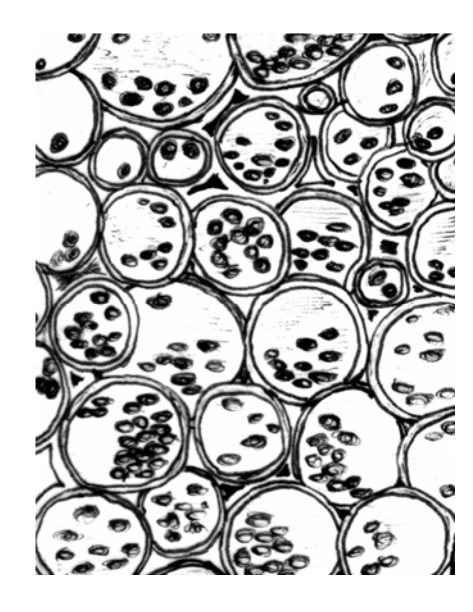


Fig. 3–34: Tejido parenquimático de reserva.

esclerenquimáticas se denominan **esclereidas** que son células de forma diversa generalmente ramificadas y relativamente cortas (Raven et al. 1992). Estas estructuras son las que proporcionan a la pera de agua su textura arenosa.

El xilema

Este tejido es uno de los más importantes en las plantas vasculares ya que es el principal conductor de agua en la planta. Además está asociado con el transporte de minerales, reserva de nutrientes y soporte (Raven et al. 1992). Este tejido forma parte del tejido vascular que recorre todo el cuerpo vegetal.

El xilema se compone de varios tipos de células pero las principales en su papel conductor son denominadas **elementos traqueales** que a su vez se componen de dos tipos de células: las **traqueidas** (Fig. 3–38) y las **tráqueas** o vasos (Fig. 3–39). Tanto las traqueidas como las tráqueas son células alargadas de paredes engrosadas que en la madurez carecen de protoplasma. Las tráqueas se diferencian de las traqueidas por tener perforaciones, que son orificios en la pared celular (Raven et al. 1992). A la parte de la pared perforada se la denomina **placa perforada**. Además, las tráqueas se unen para formar unos tubos continuos denominados vasos.

Las tráqueas en realidad solo están presentes en las angiospermas (plantas con flores pero cuya semillas están dentro de un ovario maduro o fruto) y en los grupos más primitivos solo se presentan traqueidas. Por ello y por estudios detallados de estas células se determinó que las traqueidas son más primitivas que las tráqueas (Raven et al. 1992). Además, se ha establecido que en general las tráqueas son transportadores de agua más eficientes que las traqueidas.

A parte de las tráqueas y traqueidas el xilema se compone de células parenquimáticas con función de almacenaje de sustancias y en muchos casos también presenta fibras y esclereidas.

El floema

Este es el principal tejido conductor de nutrientes de la planta y constituye con el xilema el sistema vascular de la planta. Los principales componentes del floema son los denominados **elementos cribosos** (el termino criboso se refiere a la agrupación de poros por las que el protoplasma de las células queda conectado)**,** de los que se pueden diferenciar dos tipos. El primero de las **células cribosas** (Fig. 3–40) y el segundo de los **elementos del tubo criboso**.

Los poros de las células cribosas son estrechos y las áreas cribosas son uniformes y se concentran en los extremos. En cambio los elementos del tubo criboso los poros suelen ser más grandes y las áreas cribosas no son uniformes.

De forma similar a lo visto en el xilema uno de los grupos es más primitivo que el otro. Las células

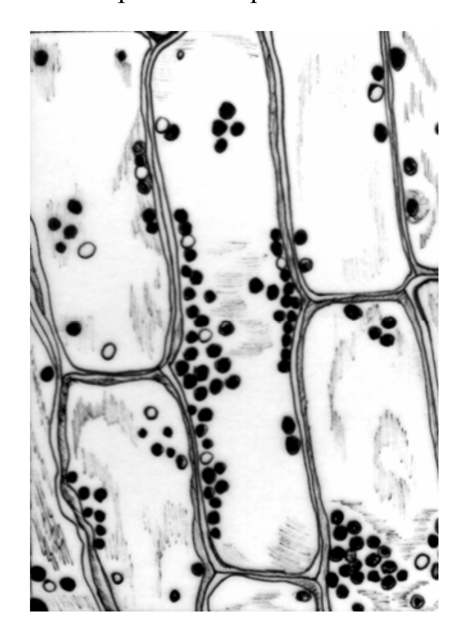


Fig. 3–35: Tejido parenquimático fotosintético o clorénquima.

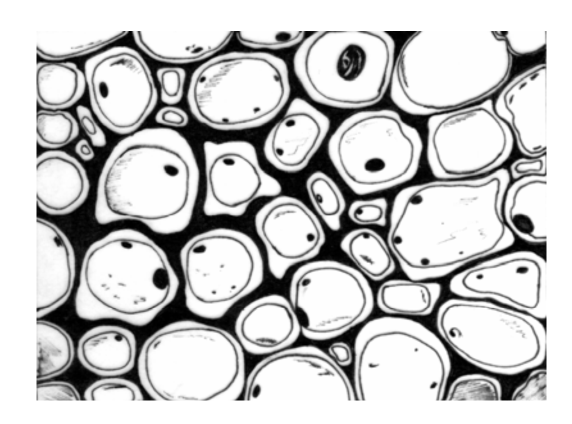


Fig. 3–36: Tejido colenquimático. Nótese que las paredes se engrosan más en las esquinas.

cribosas son las más primitivas y constituyen el principal medio de conducción de nutrientes de los grupos más primitivos de las plantas vasculares, mientras que los elementos del tubo criboso son característicos de las angiospermas.

Los elementos cribosos se encuentran conectados en sus extremos formando una estructura tubular denominada **tubo criboso** (Fig. 3-39). Una diferencia muy importante entre el xilema y el floema es que en el floema los elementos cribosos se mantienen vivos en la madurez. Es decir, que a diferencia de lo que ocurre en el xilema, las células de los elementos cribosos conservan su protoplasma vivo. Además, este protoplasma es único, ya que carece de núcleo y porque en la mayor parte de los casos los límites entre las vacuolas y el citoplasma no son claros.

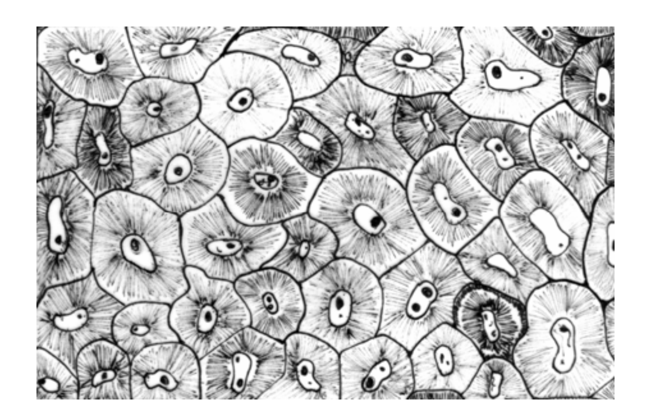


Fig. 3–37: Tejido esclerenquimático. Nótese que hay presencia de pared celular secundaria, la cual ocupa casi toda la célula, y sólo algunas de ellas presentan todavía protoplasma vivo.

Los tubos cribosos no se encuentran solos, sino que presentan células parenquimáticas características denominadas **células acompañantes**, con las que guardan una estrecha relación.

Epidermis

La epidermis es la capa de células más externa que cubre todo el cuerpo de la planta sin desarrollo secundario. Es decir, que la epidermis no cubre, por ejemplo, los tallos y raíces en los que se haya formado corteza.

Por lo general la epidermis está conformada por una sola capa de células, pero en algunos casos se pueden encontrar epidermis con múltiples capas. A esta epidermis múltiple se la asocia con una función de almacenaje de agua.

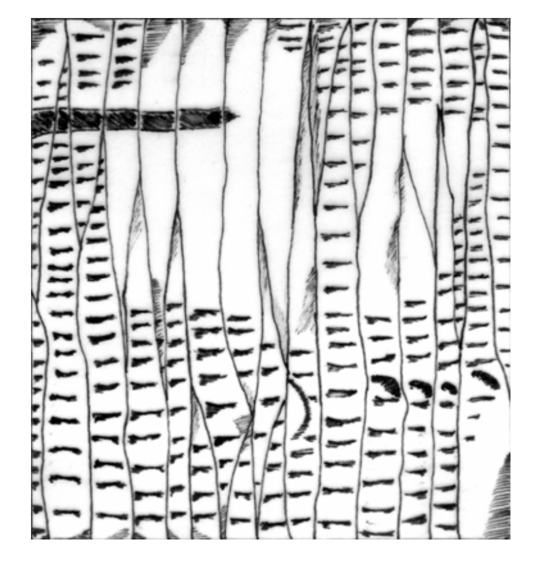


Fig. 3–38: Traqueidas del xilema de una gimnosperma.

Las células que conforman la epidermis presentan muy variadas características. Sin embargo, se puede hablar de unas células epidérmicas "ordinarias" (Fig. 3–41), que son las más abundantes, y de otros tipos de células epidérmicas especializadas. Estos tipos son básicamente 2, las que forman los **tricomas** (Fig. 3–42) y las células o célula de los **estomas** (Fig. 3–43).

Las células "ordinarias" de la epidermis tienen fundamentalmente dos funciones. La primera de protección mecánica de los tejidos vegetales y la segunda de aislante para reducir la pérdida de agua de la planta y así evitar su desecación. Esta segunda

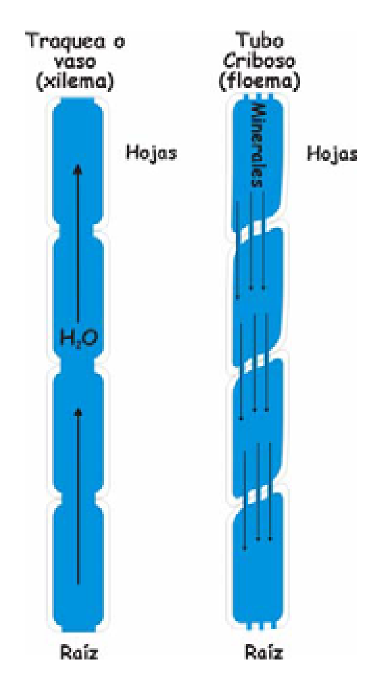


Fig. 3–39: Tráqueas y tubos cribosos.

función la realizan gracias a que sus paredes celulares, en las partes aéreas, están recubiertas por una cutícula generalmente de cutina y cera.

Dispersas entre las células "ordinarias" de la epidermis se encuentran las **células oclusivas**, que a diferencia de las otras células epiteliales tienen una gran cantidad de cloroplastos. Las células oclusivas son las que forman los ya mencionados estomas, que no son más que pequeñas aperturas en la epidermis que comunican a los tejidos internos con el exterior. A parte de las células oclusivas hay otras células asociadas a las estomas que no son las células epidérmicas "ordinarias" y se denominan **células accesorias.** Las células oclusivas controlan la

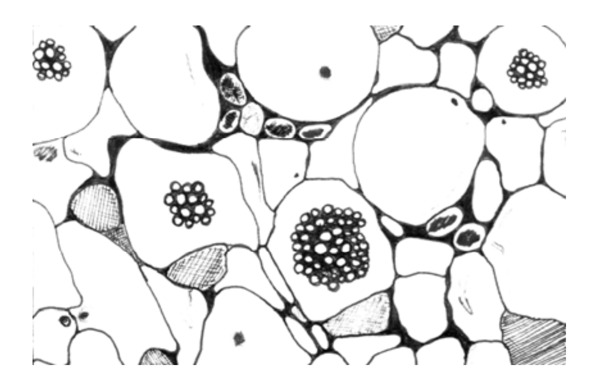


Fig. 3–40: Células conductoras del floema.

apertura y cierre de los estomas. De esta manera controlan el intercambio de gases de la planta. Estos gases incluyen el dióxido de carbono, oxígeno y vapor de agua.

Los estomas pueden ser encontrados en prácticamente todas las partes aéreas de la planta pero son especialmente abundantes en la superficie inferior de las hojas. No obstante, esto no es una regla y la distribución de los estomas en la misma hoja puede ser muy variada.

Los tricomas (Fig. 3–42) se observan generalmente en las superficies de las hojas, tallos y raíces verdes a manera de pequeños pelitos. No obstante, en algunos casos pueden ser encontrados en otros órganos aéreos de la planta. Sus funciones son muy diversas al igual que sus características como el tamaño, la forma y la ubicación.

Los pelos radicales facilitan considerablemente la absorción de agua y minerales del suelo (véase *Capítulo 4*). Reducen la perdida de agua en hojas y tallos. En algunos casos los tricomas de las hojas también están relacionados con absorción de agua y minerales. En otros casos sirven de estructuras secretoras de sales, evitando así que se acumulen en los tejidos. Por otro lado los tricomas pueden ser también estructuras de defensa contra predadores. Esto lo logran acumulando substancias toxicas o irritantes para insectos u otros herbívoros.

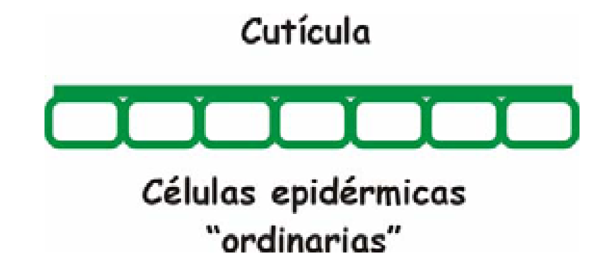


Fig. 3–41: Estructura del tejido epidérmico.

ORGANOGRAFÍA

Un nivel de organización superior al de los tejidos son los órganos. Los órganos son estructuras formadas por diferentes tejidos con una función conjunta. Entre los órganos de la planta tenemos, la raíz, el tallo, las hojas, las piezas florales, el fruto y la semilla (Fig. 3–44). Todos estos serán descritos a continuación de una forma muy breve ya que varios

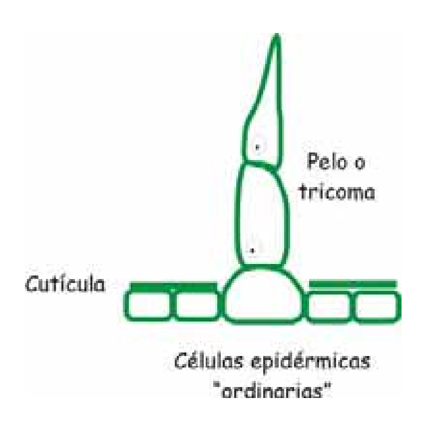


Fig. 3–42: Estructura de un tricoma.

de ellos se estudian a más detalle en otros capítulos. En el caso de las partes florales no serán descritas individualmente sino que por motivos prácticos se describirá la flor en su conjunto.

Es importante hacer notar que la siguiente descripción no pretende, de ninguna manera, describir los órganos de una forma válida para todas las plantas. La descripción es muy general y debe tenerse en mente que todos estos órganos pueden variar significativamente de grupo en grupo (véase el segundo anexo) y en algunos casos incluso no presentarse. Este es el caso de la flor, por ejemplo, que no se presenta en algas, musgos y otros.

La raíz

Las raíces (Fig. 3–44) son estructuras encargadas de fijar a la planta e incorporar agua y minerales (Fig. 3–45). Sus características morfológicas pueden ser muy variadas de acuerdo a la planta y su hábitat. Este órgano está presente en las plantas vasculares y no así e algas y musgos. Es la primera estructura en salir de la semilla cuando esta germina y puede constituir más de la mitad de la masa corporal de la planta.

La raíz está constituida por los tejidos epidermis, corteza y cilindro vascular (Fig. 3–45). La epidermis cubre las partes jóvenes de las raíces mientras que la corteza cubre las partes viejas. La epidermis de la raíz se diferencia de la epidermis de otros órganos debido a que no presenta cutícula o ésta es muy delgada. Esto se debe a que la raíz requiere ser más permeable para cumplir su función de absorción de agua y minerales.

Las células epidérmicas de las raíces también se caracterizan por tener prolongaciones hacia el exterior (Fig. 3–45). Estas extensiones se denominan **pelos radicales** y tienen como función incrementar la superficie de absorción de las raíces.

Aunque, como ya se dijo, las raíces pueden presentarse con características muy variadas, se las pude dividir en dos grandes grupos. Las raíces **axonomorfas** (más características de las dicotiledóneas) son todas aquellas que presentan un eje central o raíz principal. Un claro ejemplo de una raíz axonomorfa lo presenta la zanahoria que presenta una raíz central o principal de la que se desprenden las raíces secundarias.

El otro tipo son las raíces **fasciculadas** (características de las monocotiledóneas) en las que no se puede distinguir un eje central o principal. Es decir que no hay una sola raíz principal.

A parte de esta hay otras clasificaciones de acuerdo a diferentes características, pero una descripción de estas resulta innecesaria por el momento.

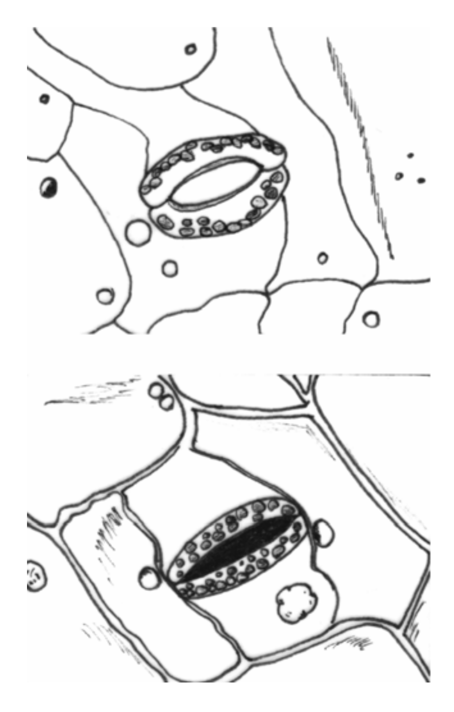


Fig. 3–43: Estructura de tejido epidérmico con estomas. En la parte de arriba se observa un estoma abierto y en la parte de abajo un estoma cerrado.

El tallo

El tallo (Fig. 3–44) cumple esencialmente dos funciones. La primera es de sostén de las estructuras aéreas y la segunda es de estructura de conducción que lleva los nutrientes generados en las hojas (véase *Capítulo 4*) hacia las raíces y de éstas lleva el agua y minerales hacia las hojas (Fig. 3–46). Sin embargo, esto no es una regla y en algunos casos hay un flujo inverso. Aunque estas son las dos principales funciones del tallo de acuerdo a la planta puede cumplir funciones adicionales. Entre estas funciones están la de reservorio de nutrientes, reservorio de agua e incluso participación activa en la fotosíntesis. Además hay que señalar que aunque la mayor parte de los tallos son aéreos, existen aquellos subterráneos.

La superficie externa de los tallos verdes presenta una epidermis muy similar a la de otros órganos como las hojas y raíces jóvenes. Es decir, que presenta más o menos el mismo tipo de células epidérmicas que las hojas.

La mayor parte de la masa del tallo está constituida por células parenquimáticas aunque también suelen presentarse otras células como las colenquimáticas esclerenquimáticas. Otros tejidos de gran importancia en el tallo son los tejidos vasculares, xilema y floema (Fig. 3–46) y aunque no se presenta en todos los tallos la peridermis es también un tejido importante.

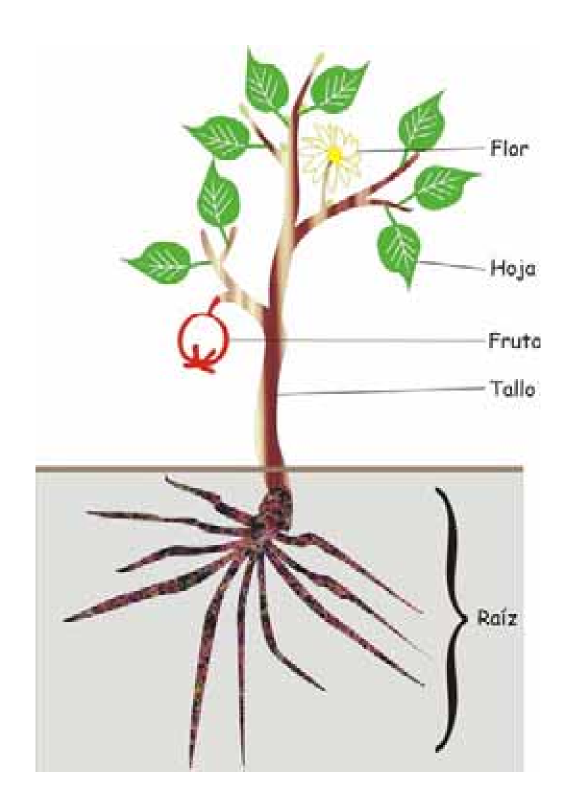


Fig. 3–44: Partes de una planta tipo.

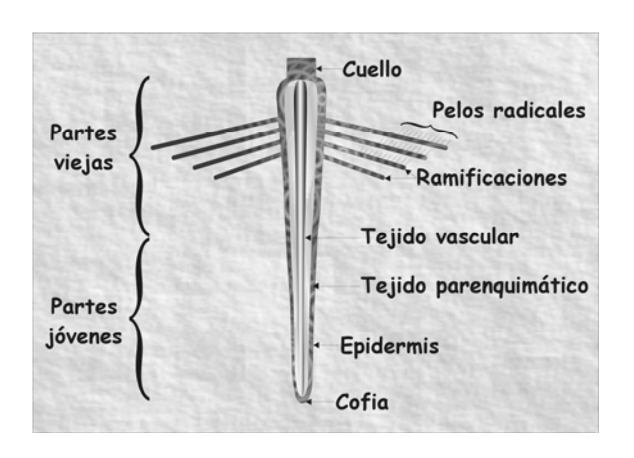


Fig. 3–45: Partes de una raíz tipo.

La hoja

Las hojas (Fig. 3–44) no siempre presentan la misma estructura en todas las plantas y se conocen numerosas modificaciones de las mismas en respuesta a diferentes condiciones ambientales. No obstante, se puede hablar de una estructura general de las hojas (Fig. 3–47). Esta estructura está determinada, aparentemente, por la necesidad de la planta de maximizar su superficie y así captar más luz para la fotosíntesis (véase *Capítulo 4*), la necesidad de realizar un intercambio gaseoso efectivo y la limitante de no poder perder agua en exceso.

La gran mayoría de las hojas tiene una forma aplanada muy extendida. Es decir, que tiene una superficie significativamente grande en relación a su volumen. Externamente la hoja está recubierta por epidermis que crea una envoltura relativamente hermética debido a la secreción de cutina que forma la cutícula (Fig. 3–47). En las hojas generalmente se pueden encontrar todos los tipos de células epidérmicas. Entre estas destacan las células oclusivas que forman y controlan los estomas (Fig. 3–43). Por lo general se observa una mayor concentración de estomas en la superficie inferior de la hoja. No obstante, en plantas que flotan en el agua solo se las encuentra en la superficie superior y en las que viven sumergidas no se las encuentra. También –aunque no siempre están presentes– son

frecuentes los tricomas, en especial en la superficie inferior de la hoja.

La distribución de los estomas y la presencia y características de los tricomas suelen estar asociados con las condiciones climáticas. Ello debido a que estas condiciones determinan la tasa de transpiración o perdida de agua. Los estomas y muchas veces los tricomas se encargan de minimizar las perdidas de agua en la planta.

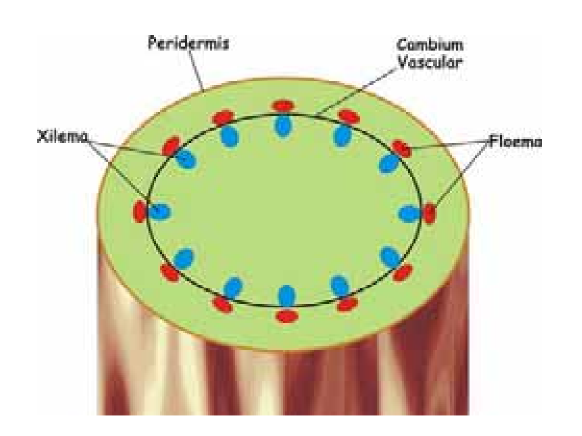


Fig. 3–46: Partes de un tallo tipo.

Una de las principales funciones de la hoja es realizar la fotosíntesis. Este proceso es llevado a cabo principalmente por células parénquimaticas de dos tipos. El **parénquima en empalizada** (Fig. 3–47) se encuentra debajo de la epidermis de la superficie superior de la hoja y se compone de células alargadas con abundantes cloroplastos. El **parénquima esponjoso** (Fig. 3–47) que se encuentra por debajo del parénquima en empalizada está constituido por células de forma irregular que crean numerosos **espacios intercelulares** (son espacios entre las células). La mayor parte de la fotosíntesis ocurre en el parénquima en empalizada mientras que el parénquima esponjoso está más asociado con el intercambio gaseoso y otras funciones de la hoja.

A parte de los parénquimas, en el interior de la hoja se encuentran los haces vasculares (Fig. 3–47) compuestos tanto de xilema como de floema. Estos haces forman los denominados **nervios** de la hoja y se comunican con el resto del sistema vascular con el objeto de conducir substancias dentro y fuera de la hoja. Los haces vasculares recorren toda la hoja y se comunican con el resto de la planta por una estructura semejante, en aspecto, al tallo. Esta estructura se denomina **pecíolo**.

El tejido parénquimatico sumado a los haces vasculares forman el tejido fundamental de la hoja, que se denomina **mesófilo** (Fig. 3–47). Es precisamente en esta parte de la hoja donde se realizan la fotosíntesis y el intercambio de gases.

La flor

Generalmente se describe la flor (Fig. 3-44) como una estructura exclusiva de las angiospermas, pero hay que tener en mente que también las gimnospermas presentan flores muy primitivas, que se conocen como **conos**. Sin embargo, por motivos prácticos sólo se describirá en general la flor de las angiospermas.

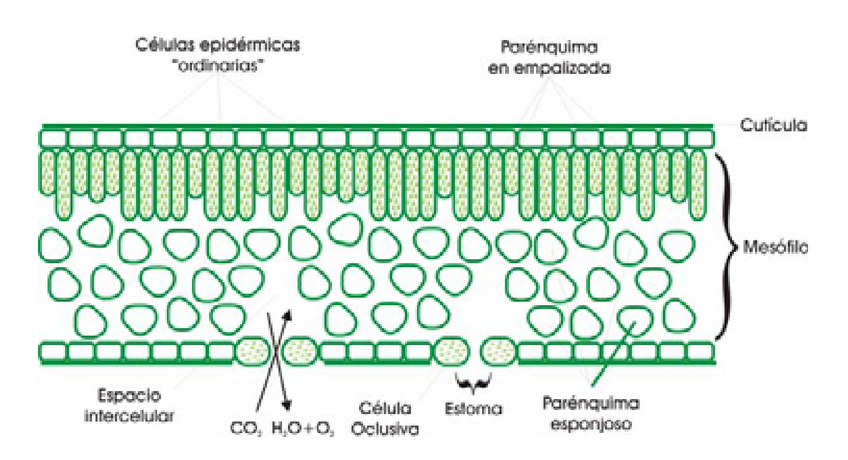


Fig. 3–47: Estructura de una hoja tipo.

La función fundamental de las flores es la de asegurar la reproducción sexual de la planta. No obstante, en muchas flores la autopolinización es frecuente con la consiguiente pérdida de las ventajas generadas por la reproducción sexual (véase *Capítulo 7*).

Las flores dentro de las angiospermas tienen muy diversas características pero todas en el fondo buscan, por algún mecanismo, que el polen de otra flor llegue a ellas y que su polen llegue a las flores de otra planta (siempre de la misma especie). En general la mayoría de las flores presentan cuatro conjuntos de piezas, que son: Los **sépalos, pétalos,**

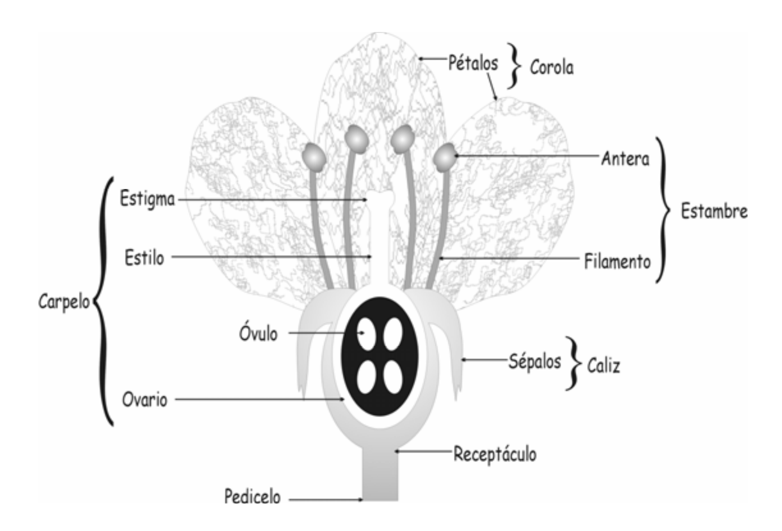


Fig. 3–48: Estructura de una flor tipo.

estambres y carpelos (Fig. 3–48). Se cree que todas estas piezas son hojas altamente modificadas pero cuyo origen sigue siendo el mismo.

Los **sépalos** son estructuras generalmente muy semejantes a las hojas. Es decir, de forma foliácea y color verde. Forman en conjunto la estructura floral denominada **cáliz** (Fig. 3–48). Esta estructura encierra y protege a la yema florar en desarrollo. Por encima de los sépalos se encuentran los **pétalos** que en conjunto constituyen la **corola** (Fig. 3–48). Los pétalos al igual que los sépalos pueden tener la forma e incluso el color de las hojas, pero generalmente presentan otros colores que son los que hacen llamativas para sus polinizadores para la gran mayoría de las flores. Además, la corola puede actuar como estructura de protección mecánica para los estambres y carpelos que suelen estar en su interior.

Los **estambres** (Fig. 3–48) son las estructuras que cargan los granos de polen, que son los gametos masculinos de la planta (véase *Capítulo 7*). Se componen de un pedicelo alargado denominado **filamento** y en su extremo están dos estructuras en formas de saco llamadas **anteras**. Las anteras son las que contienen los granos de polen.

En el centro de la flor se localizan el o los **carpelos** (Fig. 3–48). El único carpelo o la suma de todos los carpelos fusionados de la flor están compuestos por el **estigma** (Fig. 3–48), que es una superficie pegajosa donde se adhieren los granos de polen; un pedicelo denominado **estilo** que comunica al estigma con la otra estructura del carpelo, que es el **ovario** (Fig. 3–47). El ovario es una estructura relativamente ancha donde se encuentran uno o más **óvulos**, que son los que contienen los gametos femeninos de la planta (véase *Capítulo 7*). Las flores que presentan tanto carpelos como estambres funcionales se denominan **flores perfectas**.

Cabe recalcar que no todas las flores tienen todas las estructuras descritas. Además, que muchas plantas no presentan flores perfectas, sino que tienen flores masculinas (con solo estambres funcionales) y flores femeninas (con solo carpelos funcionales). A estas flores se las denomina **flores imperfectas**.

El fruto

El **fruto** verdadero (Fig. 3–49) consiste en un ovario maduro, que pude o no incluir otras piezas florales. Por lo general el fruto contiene a la semilla pero existen algunos casos en los que el fruto se desarrolla sin que se forme la semilla. Un ejemplo de ello son los plátanos o bananas.

La principal función del fruto es la dispersión de la semilla o las semillas que contiene (véase *Capítulo 7*). Aunque muchos de los frutos se orientan hacia la dispersión por animales, siendo el fruto la recompensa para el animal, algunos frutos recurren a otras estrategias pudiendo ser fácilmente transportados por agua u otros medios.

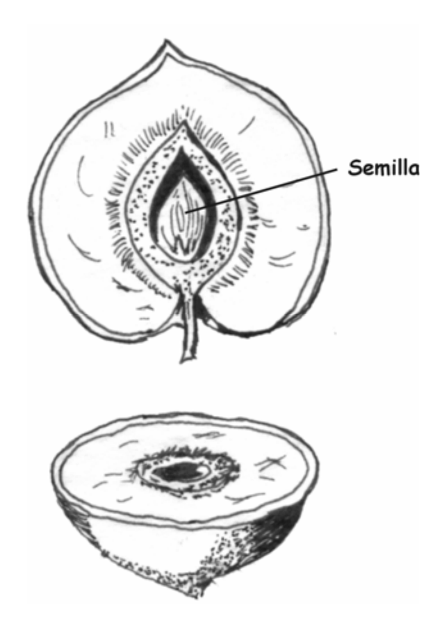


Fig. 3–49: Estructura de un fruto tipo.

La semilla

La **semilla** consiste en el embrión que se desarrolla a partir de la ovocélula fecundada (véase *Capítulo 7*). La semilla presenta un a cubierta que se forma a partir de los tegumentos del óvulo y protege al embrión. Esta cubierta se denomina **cubierta seminal**. La semilla además contiene una reserva de alimento que consiste en el denominado **endosperma** o deriva del mismo. En muchos casos el o los **cotiledones**, dependiendo si son dicotiledónea o monocotiledónea, cumple la función de reserva alimenticia.

CUESTIONARIO

1) ¿Cuáles son las características más importantes del agua para la vida?
2) ¿Cuáles son las características más importantes del carbono para la vida y cuál es su importancia?
3) ¿Cuáles son las principales moléculas para la vida?
4) ¿Cuáles son las substancias que sirven de reserva energética?
5) ¿Cuáles son las funciones de las proteínas?
6) ¿Cuáles son las principales diferencias entre la célula vegetal y animal?
7) Grafica una célula vegetal y con flechas indica por lo menos 8 estructuras y/o partes de la célula vegetal.
8) ¿De que se componen la pared celular y la membrana celular?
9) ¿Cuáles son las características de la envoltura nuclear?
10) ¿Cuáles son los principales tejidos de conducción y cuáles son sus características?
11) ¿Cuál es la función de las células oclusivas y la de los tricomas?
12) ¿Cuáles son las principales funciones de la raíz, el tallo y las hojas?
13) Realice un esquema de la hoja con todas sus partes.
14) Realice un esquema de la flor con todas sus partes.
15) ¿Cuál es la función del fruto?

REFERENCIAS

- 🕮 Azcon–Bieto, J. & M. Talón. 1993. *Fisiología y Bioquímica Vegetal,* McGraw–Hill • Interamericana Madrid, pp 1–45, 149–165.
- 🕮 Campbell, N., L. Mitchell & J. Reece. 1994. *Biology Concepts & Connections.* Editorial Benjamin Cummings, EUA, pp 1–45, 51–68, 601–667.
- 🕮 Curtis, H. & S. Barnes. 1993. *Biología,* 5º edición. Editorial Medica Panamericana, Cali, pp 80–103, 109–147, 627–683.
- 🕮 Hein, M. 1992. *Química*. Grupo Editorial Iberoamérica. Colombia, pp 80–81
- 🕮 Raven, P., R. Evert & S. Eichhorn. 1991. *Biología de las Plantas,* Tomo I. Editorial Reverté, Barcelona, pp 1–6, 13–40, 45–56.
- 🕮 Raven, P., R. Evert & S. Eichhorn. 1992. *Biología de las Plantas,* Tomo II. Editorial Reverté, Barcelona, pp 373–382, 400–466.
- 🕮 Smith C. & E. Wood. 1997. *Moléculas Biológicas,* Addison – Wesley Iberoamericana, EUA, pp 1–25, 32–52, 83–122, 124–143, 146–156, 166–172.
- 🕮 Smith C. & E. Wood. 1998. *Biología Celular,* Addison – Wesley Iberoamericana, S.A. EUA. 11–36, 69–87, 91–92, 118–136, 139–156.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS RECOMENDADAS

- Azcon–Bieto, J. & M. Talón. 1993. *Fisiología y Bioquímica Vegetal,* McGraw–Hill • Interamericana Madrid, 580p.
- Campbell, N., L. Mitchell & J. Reece. 1994. *Biology. Concepts & Connections.* Editorial Benjamin Cummings, EUA.
- Raven, P., R. Evert & S. Eichhorn. 1991. *Biología de las Plantas,* Tomo I. Editorial Reverté, Barcelona.
- Raven, P., R. Evert & S. Eichhorn. 1992. *Biología de las Plantas,* Tomo II. Editorial Reverté, Barcelona.
- Smith C. & E. Wood. 1997. *Moléculas Biológicas,* Addison – Wesley Iberoamericana, S.A. EUA.
- Smith C. & E. Wood. 1998. *Biología Celular,* Addison – Wesley Iberoamericana, S.A. EUA.

PÁGINAS EN INTERNET

- ✓ Botánica: células y tejidos: http://www.rrz.uni-hamburg.de/biologie/b_online/e04/04a.htm
- ✓ Célula tipo: http://koning.ecsu.ctstateu.edu/cell/cell.html
- ✓ Célula vegetal –estructura: http://www.bio.mtu.edu/campbell/plant.htm
- ✓ Célula vegetal: http://interbiologia.virtualave.net/celula/
- ✓ Célula vegetal: http://www.cells.de/cellseng/medienarchiv/archiv/cd1pflpa.htm
- ✓ Célula vegetal: http://www.libfind.unl.edu/wglider/tutorial/plantcel.html
- ✓ Estructura y función de la célula vegetal: http://www.libfind.unl.edu/wglider/tutor/plant.htm
- ✓ Niveles de organización: http://www.arrakis.es/~lluengo/biologia.html
- ✓ Organelos vegetales: http://www.cellsalive.com/cells/plntcell.htm
- ✓ Plantas y células: http://plantcell.lu.se/

Para información actualizada, nuevos enlaces y material didáctico adicional visitar:

http://www.mbotanica.8.com

CAPÍTULO 4

BIOQUÍMICA Y FISIOLOGÍA

Todos los seres vivos, como se vio en el *Capítulo 3*, están formados de una serie de compuestos químicos. Éstos están constituidos principalmente de hidrógeno (H), carbono (C), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S). Es así, que las plantas deben incorporar estos materiales dentro de su organismo y transformarlos mediante reacciones químicas, de forma que puedan pasar a formar parte de sus estructuras. Las reacciones necesarias para las transformaciones son desarrolladas por moléculas celulares y muchas de estas reacciones necesitan de energía proveniente, en primer lugar, de los rayos solares. El presente capítulo tratará los principales compuestos de las células de la planta; cómo es que son incorporados a la planta; cómo se transforman para su utilización o almacenamiento y cómo se obtiene la energía para estos procesos.

NOCIONES BÁSICAS SOBRE LA ENERGÍA

Quizá la única forma de describir la energía y medirla es a través de los efectos que tiene sobre la materia. Es así que la energía puede definirse como la capacidad de realizar un trabajo (Campbell et al. 1994). La energía es lo que hace posible cualquier cambio y es requerida por todos los organismos para mantener su condición de seres vivos.

Se puede hablar de dos tipos de energía: La **energía cinética** y la **energía potencial**. La primera es cuando la energía se encuentra precisamente realizando un trabajo. El cual se observa en el movimiento de cierta materia. Un ejemplo de energía cinética sería la caída de una roca en un barranco.

El segundo tipo de energía es la capacidad de cierta materia de realizar un trabajo en el futuro inmediato. En este caso el ejemplo sería una roca al borde de un barranco. La energía potencial de ésta roca puede convertirse en energía cinética al caer la roca al barranco.

De la misma forma que la roca, los electrones de un átomo tienen energía potencial debida a su posición en la capa de electrones. Así mismo la célula tiene energía potencial debido a la disposición de sus átomos. Es decir, que la energía potencial de la célula, denominada **energía química**, es la energía potencial de sus moléculas.

La vida depende en que la energía potencial de las células se convierta en energía cinética. Es decir, que la vida existe debido a que las células tienen la capacidad de convertir su energía química en energía cinética, pero ¿de donde proviene esta energía? La respuesta a tal pregunta está en cada amanecer. Algunos organismos, entre los que destacan las plantas, son capaces de aprovechar la energía solar (la luz), para así generar energía química. En síntesis la vida depende del flujo de energía que viene del sol, se transforma en energía química y finalmente se convierte en energía cinética por procesos que veremos más adelante.

Leyes termodinámicas

Todas las transformaciones que sufre la energía están sujetas a dos leyes universales, denominadas primera y segunda ley de la termodinámica.

De acuerdo con la **primera ley de la termodinámica**, también conocida como la **ley de la conservación de la energía**, el total de la energía del universo es constante. Esto significa que la energía no puede ser creada o destruida y solo puede ser transformada o transferida. Esto puede resultar algo confuso, pero para aclararlo utilicemos un simple ejemplo. Cuando después de un tiempo las pilas o baterías de la linterna se quedan sin energía y la linterna se apaga. Entonces surge la pregunta, ¿dónde se fue la energía de la batería? La energía de la batería se transfirió al foco de la linterna y allí se transformo en luz y calor. Es decir que la energía en las baterías se transformo en luz y calor disipándose en el medio.

De forma similar a la batería que contiene moléculas con una energía potencial, la célula tiene moléculas con energía potencial que es transferida y transformada en trabajo (como se verá más adelante en este capítulo). En el caso de las luciérnagas, por ejemplo, parte de su energía química es

transformada en luz y calor de forma similar a lo que ocurre con la linterna.

La **segunda ley de la termodinámica** sostiene que toda transformación que sufre la energía reduce el orden del universo o incrementa el desorden del mismo. La cantidad de desorden en un **sistema** (fragmento de materia del universo en observación) se denomina **entropía**. Una de las formas de desorden es el calor y por consiguiente se puede medir la entropía generada por una transformación de energía midiendo la cantidad de calor que produce. En el ejemplo de la linterna parte de la energía se transformaba en calor, y esta energía se pude dar por perdida ya que no realiza el trabajo de iluminar.

A todo esto surge la interrogante de sí esta ley es aplicable a la vida ya que a medida que hay más transformaciones de energía en la célula y los organismos parece haber un mayor y más complejo orden. Es decir, pareciera que la vida desafía la segunda ley de la termodinámica. No obstante, no es así. Si bien es cierto que en un organismo más complejo y con una mayor cantidad de transformaciones de energía hay un mayor orden, el desorden a su alrededor se incrementa debido al calor liberado por todas esas transformaciones de energía.

El calor producido por las transformaciones de energía en la célula es una forma de energía no aprovechable por la misma. Por ello se puede decir que el calor liberado por la célula es energía perdida para ésta. Muchas veces se habla de entropía como de energía "inútil".

Energía libre

Ahora que se vio que la energía "inútil" se denomina entropía toca ver la energía "aprovechable" o "utilizable". La denominación para la energía "utilizable" es **energía libre**. Por consiguiente cuando se dice que una molécula u otra estructura contienen una cierta cantidad de energía libre se hace referencia a la energía potencial "útil" de esta molécula. La energía libre está relacionada con la variación de la temperatura y la presión. Sin embargo, por motivos prácticos cuando se trabaja con organismos vivos o sistemas vivos se asume que las condiciones isotérmicas y de presión constantes.

La **energía libre** de Gibs, cuyo símbolo es G, puede realizar trabajo a una temperatura y presión constantes (Smith & Wood 1998a). El ΔG es el símbolo utilizado para señalar la variación de energía libre que puede darse en una reacción. El $\Delta G^{0'}$ es el símbolo de la diferencia de energía libre estándar a pH 7.0 y por consiguiente es el más utilizado para cuantificar los cambios de energía libre en las reacciones bioquímicas.

Cuando se habla de diferencia de energía $\Delta G^{0'}$ de una reacción se hace referencia a la diferencia en el contenido de energía libre entre los reactivos y los productos a condiciones estándar. Las condiciones estándar son 25ºC, una presión de 101 kPa manteniendo las concentraciones de reactivo y producto en 1 mol / dm^3 y un pH de 0.0 (Smith & Wood 1998b).

METABOLISMO

En el caso de los hongos, el de los animales y el nuestro extraemos la energía y los materiales que necesitamos de plantas y otros animales. A este tipo de organismos se los conoce como **heterótrofos**. Las plantas, en cambio, generalmente no dependen de otros seres vivos para obtener la energía y gran parte de los materiales que estas requieren y son organismos **autótrofos**. Ello se debe a que las plantas tienen la capacidad de sintetizar moléculas ricas en energía aprovechando el CO_2 atmosférico, H_2O y la energía proporcionada por los rayos de luz. Este proceso es conocido como **fotosíntesis** y su estudio constituirá gran parte del presente capítulo.

La energía obtenida tanto por los heterótrofos como por los autótrofos no es directamente aprovechable y debe sufrir una serie de cambios para poder ser utilizada por las células. Esta serie de transformaciones que permiten que la célula aproveche la energía de las moléculas producidas por la fotosíntesis o ingeridas por los animales se conoce como **respiración celular**. Este proceso es universal y presenta básicamente las mismas características en células animales y vegetales. En las plantas la respiración celular y la fotosíntesis son mecanismos complementarios que, además dependen del intercambio de gases y de la presencia de ciertos compuestos. Todos estos fenómenos comprenden lo fundamental e indispensable del **metabolismo** de las plantas y son estudiados dentro de la **fisiología vegetal**, junto con otros temas como

reproducción, crecimiento, desarrollo, asimilación y distribución de compuestos, etc.

El metabolismo de las plantas es la suma de todas las reacciones químicas que ocurren dentro de las células vegetales. La variedad de reacciones que ocurren dentro de las células es tan grande que sin duda requeriríamos no solo de un capítulo sino de toda una serie de libros para describirlas. Además, existen muchas de estas reacciones que aún no se comprenden con claridad y posiblemente otras ni se conocen. Por ello, nos limitaremos a señalar las características más generales de las reacciones que ocurren dentro de la célula vegetal.

Dentro del metabolismo existen, en general, dos tipos de reacciones. Las reacciones **anabólicas,** que son las que sintetizan moléculas complejas a partir de moléculas sencillas con la utilización de energía, mientras que las reacciones **catabólicas** son las que rompen las moléculas complejas para dar lugar a moléculas sencillas liberando energía. Al conjunto de reacciones anabólicas se denomina **anabolismo** y al conjunto de reacciones catabólicas se las denomina **catabolismo**. El catabolismo sirve para liberar energía para el anabolismo y otros trabajos de la célula, así como para suministrar la materia prima para los procesos anabólicos.

Las reacciones anabólicas, catabólicas y otros eventos dentro de las células implican la intervención de una serie de moléculas de gran importancia, de las cuales veremos algunas a continuación.

Enzimas

Bioquímicamente hablando, las enzimas son proteínas, pero para comprender en que se diferencian del resto de las proteínas y para qué sirven las enzimas partamos de que muchas de las reacciones químicas requieren en su inicio de una **energía de activación.** Ello se debe a que las reacciones químicas son fenómenos que dependen de cierta energía cinética, pero un análisis más profundo de ello resulta inconveniente en este nivel.

En el laboratorio esta energía puede ser obtenida, por lo general, a través de la inserción de calor o catalizadores como el níquel, pero la célula no puede valerse de estos recursos y los suple con la utilización de un **catalizador orgánico.**

Ahora trataremos de explicar el fenómeno comparándolo con uno similar, pero más familiar.

Si observamos con atención notaremos que, cuando tratamos de mover un objeto en reposo, requerimos imprimir más fuerza para empezar a moverlo que para mantenerlo en movimiento. De esta forma, utilizamos una cantidad adicional de energía para iniciar el movimiento. De igual manera, las reacciones químicas necesitan en su inicio una mayor cantidad de energía y es ésta a la que se denomina **energía de activación**.

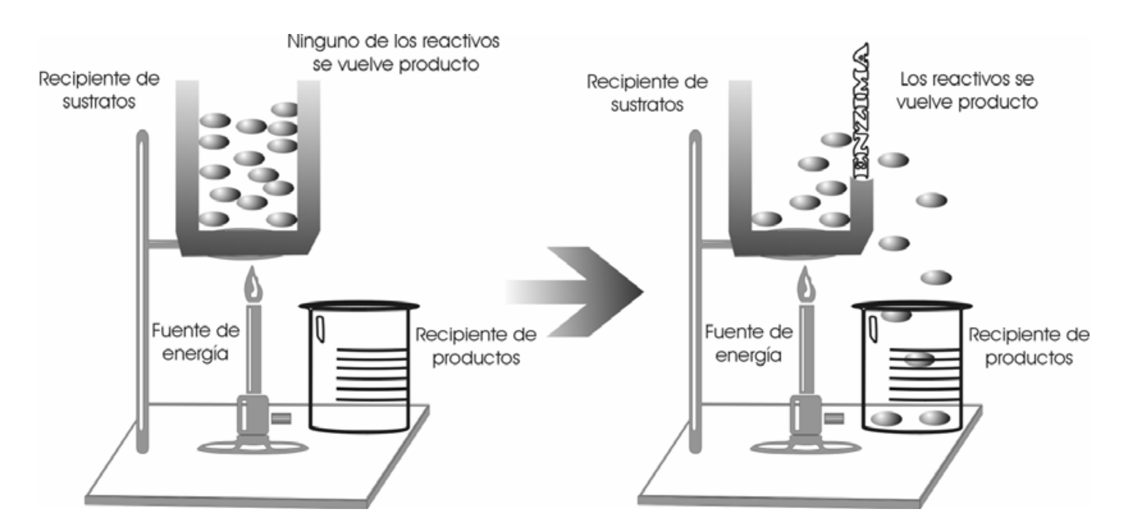


Fig. 4–1: Esquema que muestra cómo las enzimas reducen la cantidad de energía de activación necesaria para un proceso. Se observa cómo la enzima permite que los sustratos pasen a ser productos con una menor cantidad de energía. Esta reducción se representa por la reducción de la barrera que contiene a los sustratos.

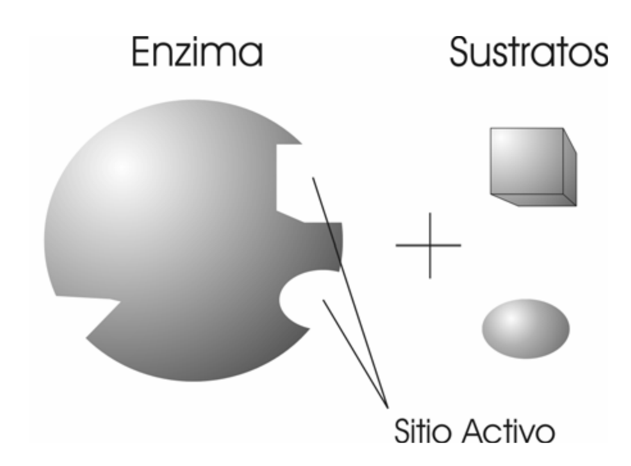


Fig. 4–2: Esquema de las características de una enzima.

Los catalizadores orgánicos son las enzimas. Estas moléculas disminuyen la energía de activación necesaria para una reacción, formando una asociación pasajera con las moléculas que reaccionan. La reducción de la energía de activación representa un incremento en la velocidad de la reacción y en muchos casos determina el que la reacción ocurra o no, aunque no es el único mecanismo de control.

El efecto de un catalizador se observa con mayor claridad en la figura 4–1. Como ya se dijo en la célula los catalizadores son las **enzimas** y por ello son conocidas como catalizadores biológicos. La Comisión de Enzimas de la International Union of Biochemistry (Unión Internacional de Bioquímica) ha catalogado casi 2500 reacciones diferentes catalizadas por enzimas (Smith & Wood 1997).

Las enzimas son en realidad **proteínas globulares** conformadas por una o más cadenas polipeptídicas. Presentan una sección en forma de saco, que es donde los reactivos deben adherirse para que la reacción ocurra y se denomina **sitio activo** (Fig. 4–2). Esta porción de la molécula presenta características físicas y químicas que coinciden para que solo ciertos reactivos específicos, que denominaremos **substrato** (Fig. 4–2)**,** puedan adherirse. Por ello, las enzimas son altamente específicas. Esto quiere decir que solo facilitan una sola reacción, sin que ello quiera decir que una reacción no pueda ser facilitada por dos o más diferentes tipos de enzimas. No obstante, el funcionamiento de las enzimas no solo depende de que el substrato encaje perfectamente en el sitio activo. Existen substancias adicionales que las **inhiben** o **activan** permitiendo que cumplan o no su función. Estas substancias son conocidas como **cofactores.** Dentro de las substancias que permiten o promueven el funcionamiento de las enzimas están los **iones**, las **coenzimas** y las **vitaminas**. Muchas de estas substancias actúan sobre la enzima modificando el sitio activo de forma que el substrato pueda encajar.

Por otro lado, muchas de las substancias que inhiben la acción de las enzimas afectan el sitio activo para que el substrato no pueda adherirse a la enzima y la reacción no ocurra. Sin embargo, existen diversas formas en las que las enzimas se ven activadas o inhibidas por moléculas, pero esto será ampliado más adelante.

Dentro de los factores físicos y químicos que no involucran a ninguna substancia o molécula, pero afectan el funcionamiento de las enzimas están la temperatura y el **pH**. Ambos factores afectan a las enzimas debido a que alteran su estructura tridimensional haciendo imposible que el sustrato encaje en el sitio activo. Por tanto, el pH y la temperatura son condiciones capaces de regular el funcionamiento de las enzimas.

Como se observa en la figura 4–3 inicialmente el incremento de la temperatura acelera la reacción. Esto se debe a efectos cinéticos, por los que las reacciones químicas incrementan su velocidad al incrementar la temperatura. Sin embargo, al llegar a

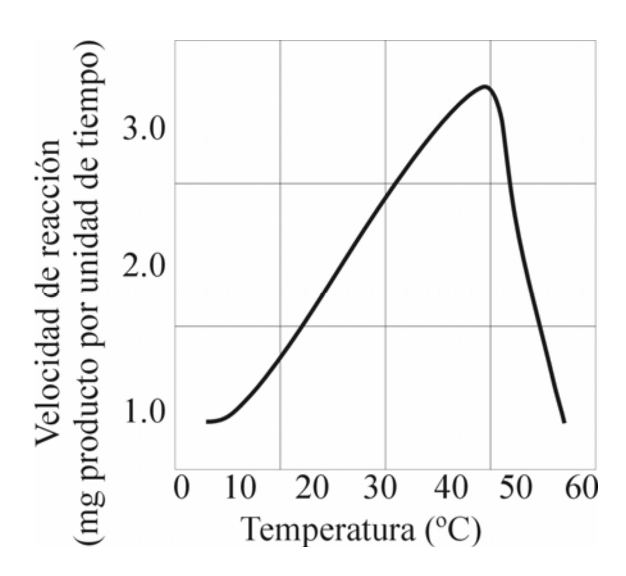


Fig. 4–3: Efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática.

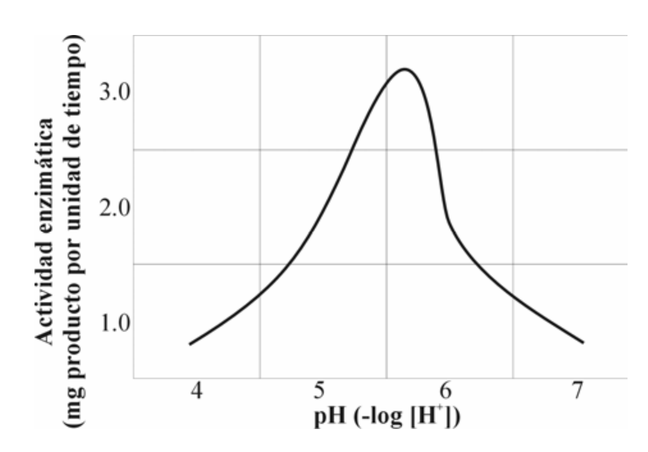


Fig. 4–4: Efecto del pH sobre la actividad enzimática.

cierta temperatura la actividad de las enzimas cae bruscamente hasta que prácticamente se detiene. Ello se debe a la **desnaturalización** de la enzima, proceso por el cual las proteínas pierden su conformación tridimensional específica (Campbell et al. 1994). El proceso de desnaturalización puede ser parcial o total. En caso de ser parcial el proceso es por lo general reversible, pero en caso de ser total el proceso es irreversible y se dice que la enzima o proteína está desnaturalizada.

En la figura 4–4 se puede apreciar la acción del pH sobre la actividad de las enzimas. Como se puede apreciar existe un pH en el que la enzima consigue su máximo rendimiento, mientras que en un pH más ácido o más básico su actividad es mucho menor. El pH, al igual que la temperatura, actúa sobre la estructura tridimensional que le da al sitio activo la capacidad de unirse al substrato. Además, afecta la distribución de las cargas de la molécula de forma que el substrato sea incompatible física y químicamente con el sitio activo. Por tal razón, el pH constituye un importante regulador enzimático. El que la enzima solo pueda actuar en un cierto pH hace que ésta se vuelva más específica, ya que dos enzimas no tienen el mismo **pH óptimo**.

Como ya se menciono anteriormente, existe una inmensa cantidad de moléculas involucradas en la inhibición del funcionamiento de las enzimas. La cantidad de compuestos inhibidores es tal, que resulta imposible enumerarlos, ya que cada enzima puede verse inhibida por uno o más compuestos o elementos.

Existen **inhibidores no competitivos** y **competitivos,** que son substancias que se enlazan temporalmente o permanentemente a la enzima. Los no competitivos no se unen al sitio activo. Estos complejos se unen a diferentes lugares de la enzima modificando el sitio activo de forma que la reacción no se lleve a cabo (Smith & Wood 1997). Entre estos existen una serie de substancias que inhiben el funcionamiento de las enzimas permanentemente, y a estas se las conoce como **inhibidores irreversibles** (Smith & Wood 1997).

Uno de los mecanismos más interesantes, por el que una enzima se activa o desactiva temporalmente es la **interacción alostérica**, para la cual es necesario que la enzima presente al menos dos sitios de unión. Uno de los cuales sirve de punto de unión para la molécula inhibidora (Fig. 4–5). Quizá pueda

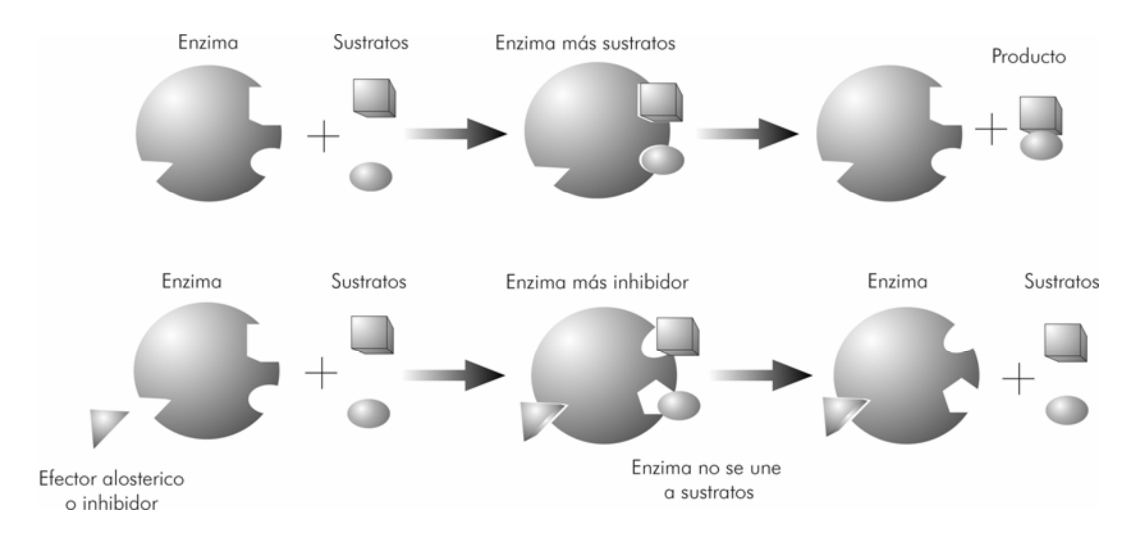


Fig. 4–5: Esquema que describe la actividad de las enzimas y su control por inhibidores alostéricos.

Fig. 4–6: Estructura y ciclo del ATP.

entenderse mejor el funcionamiento de la enzima si se observa la figura 4–5, en la que se observa como la enzima cataliza una reacción y como es inhibida por otro compuesto.

Las interacciones alostéricas están frecuentemente implicadas en la **inhibición por retroalimentación**, que es una forma común de control biológico. En la inhibición por retroalimentación, el producto de la reacción catalizada por la enzima o un producto relacionado actúa como efector alostérico. Es decir que el producto actúa como sustancia inhibidora.

Un tipo de inhibición diferente al anterior es el conocido con el nombre de **inhibición competitiva**. En ésta una substancia ocupa temporalmente el sitio activo impidiendo la unión del substrato. De esta manera el inhibidor compite con el substrato para adherirse al sitio activo. La inhibición competitiva es completamente reversible y el resultado de la competencia depende de la concentración de cada substancia. A pesar de ser reversible algunos compuestos son tóxicos para la célula por sus efectos de inhibición competitiva de reacciones fundamentales para la célula.

ATP: Unidad energética en la célula

Considerando que la energía de la célula se almacena en moléculas de elevada energía como la glucosa y que las reacciones no requieren tanta energía a la vez resulta lógica la necesidad de un intermediario energético que contenga una menor cantidad de energía. Esto porque para conseguir una cierta cantidad de energía para una reacción resulta más fácil sumar varios de estos intermediarios que dividir la energía liberada por una glucosa u otra molécula con gran cantidad de energía. Es lo mismo que si se tiene una moneda de 1 boliviano, la moneda no se puede partir en pedazos para comprar algo que cuesta menos de 1 boliviano, pero si se tienen monedas de 10 centavos si se puede reunirlas para comprar algo de un 1 boliviano, menos o más. En esto surgiría la pregunta de porque entonces la célula guarda su energía en moléculas de alta energía y no directamente en los intermediarios. La respuesta se la puede dar con el ejemplo de las monedas. Si se quiere guardar 10 bolivianos se requiere menos espacio si se lo hace con monedas de 1 boliviano que si se lo hace con monedas de 10 centavos.

Algo similar ocurre con la transformación de la energía solar en energía química, que se verá más adelante. La transformación no puede convertir la energía directamente en glucosa u otra molécula que contenga una muy alta cantidad de energía. Para ello se requiere también de intermediarios energéticos que luego reúnen su energía para síntesis de moléculas entre las que están las que almacenan la energía en la planta.

El intermediario energético utilizado tanto para transferir la energía de las moléculas de almacenamiento a las reacciones que la necesitan, como para la síntesis de éstas es el nucleótido **adenosina trifosfato** (Fig. 4–6), cuyo denominativo común es su abreviación **ATP**. En la célula el ATP es el intermediario energético por excelencia. Es decir que proporciona la energía para casi todas las formas de trabajo celular.

Fuera del ATP existe una serie de moléculas que cumplen una función similar como intermediarios energéticos. Entre éstas podemos citar al GTP (guanosina trifosfato), FAD (flavina adenina dinucleótido), NAD^+ (nicotinamida adenina dinucleótido) y $NADP^+$ (nicotinamida adenina

dinucleótido fosfato). A pesar de ello se puede decir que el ATP es la “moneda” energética de la célula.

La molécula de ATP tiene la capacidad de liberar energía a través del desprendimiento del tercer fosfato. Esto ocurre por un proceso de **hidrólisis** cuyo producto es **ADP** (adenosina difosfato) y un fosfato, como se puede apreciar en la figura 4–6. En el curso de la reacción se liberan 7,3 kilocalorías por mol de ATP (Stryer 1995). La eliminación del segundo fosfato produce el **AMP** (adenosina monofosfato). Sin embargo, por lo general el ATP solo pasa a ADP para luego convertirse en ATP nuevamente. Este proceso se conoce como el **ciclo del ATP** (Fig. 4–6).

El por qué la célula utiliza al ATP como “moneda” energética universal habiendo otras moléculas capaces de aceptar y liberar energía no es difícil de entender. El ATP es más conveniente como “moneda” energética que otras moléculas principalmente porque presenta una energía de hidrólisis intermedia. Es decir, que cuando está en forma de ADP puede actuar como aceptor energético de otras moléculas con mayor energía y cuando está como ATP actúa como dador de energía estando en una muy conveniente posición intermedia.

Los azúcares y las grasas son importantes fuentes de energía almacenada. Esta energía como ya se dijo no es aprovechada directamente, sino que primero es transformada en ATP. Cabe preguntarse por qué la célula no utiliza estas substancias directamente como fuente de energía en vez de tomarse la molestia de transferir la energía de estas moléculas al ATP. La respuesta salta a la vista si comparamos la cantidad de energía liberada por un compuesto como la glucosa y la liberada por ATP. La glucosa libera en una reacción ideal 2898 kJ mol^{-1}.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

En cambio, en la hidrólisis el ATP solo llega a liberar 30,6 kJ mol^{-1} (Smith & Wood 1998b).

$$ATP + H_2O \rightarrow ADP + fosfato$$

Como se puede apreciar, la cantidad de energía liberada por la glucosa es tal que muy difícilmente una célula podría aprovecharla, más aún la liberación de tanta energía junta solo ocasionaría daños a la célula. Por el contrario, la cantidad de energía liberada por el ATP resulta muy conveniente para las reacciones que ocurren dentro de la célula. Es evidente que una gran cantidad de reacciones requieren de una cantidad de energía superior a la que libera una sola molécula de ATP, pero resulta más fácil utilizar gran número de pequeñas cantidades de energía que dividir una cantidad grande de energía.

Incorporación de Importantes Compuestos a La Planta

Movimiento del agua

Una de las substancias más importantes para la vida es el agua, sin la cual quizá la vida nunca se habría iniciado (véase *Capítulo 3*). El movimiento de este importante líquido, al igual que las sustancias acuosas en general está determinado por tres principios. El primero es el **potencial hídrico** que no es más que la diferencia de energía potencial del agua. Ejemplos claros de la existencia de esta energía potencial del agua son las represas, utilizadas por las hidroeléctricas para convertir esa energía potencial en energía cinética que es transformada en electricidad.

El agua se mueve desde donde el potencial hídrico es mayor hacia donde éste es menor, sea cual sea la razón de la diferencia (Raven et al. 1991). El potencial hídrico es útil debido a que permite predecir el movimiento del agua sometida a diferentes condiciones. Por lo general es medido como la presión necesaria para detener el movimiento del agua.

El segundo principio es la **difusión**, que es el movimiento neto de partículas suspendidas o disueltas desde una región con mayor concentración a otra región de menor concentración (Raven et al. 1992). Este movimiento es producto de un movimiento aleatorio de las moléculas y tiende a distribuir las partículas de forma uniforme por todo el medio. Es así que se puede decir que la difusión tiende a equilibrar las concentraciones a través del sistema

Cuando el movimiento de las substancias es de una zona de alta concentración a otra de menor concentración se dice que se mueve **a favor del gradiente**. El movimiento inverso requiere de energía y se denomina como movimiento **contra el gradiente**.

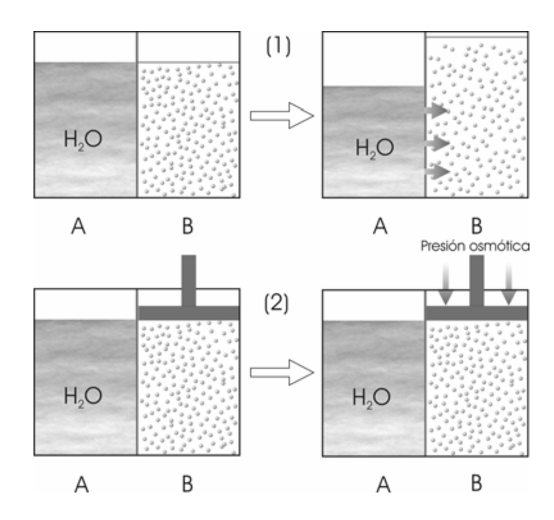


Fig. 4–7: Esquema que explica la presión osmótica, en la gráfica superior se observa cómo el volumen de la cámara con mayor concentración de solutos se incrementa por la presión osmótica. En la gráfica inferior se observa que esta presión osmótica es equivalente a la fuerza necesaria para detener este incremento de volumen.

El tercer principio es la **osmosis**. La osmosis no es más que la difusión del agua a través de una membrana selectivamente permeable (Raven et al. 1991). Este es el caso de la membrana celular, ya que permite el libre paso del agua pero no permite el paso de las substancias disueltas.

El agua pasa de un lado de la membrana al otro a favor del gradiente. Este movimiento no depende de cual sea el soluto, sino de la concentración del mismo. Es así que si se tiene un recipiente con agua pura y otro con agua con sal el agua fluirá hacia la cámara con sal (Fig. 4–7) y consiguientemente el volumen de la misma aumentará. Esto se puede evitar aplicando una presión (Fig. 4–7). La presión necesaria para evitar el paso de agua se denomina **presión osmótica.**

La presión osmótica depende de la concentración de soluto o cantidad de moléculas del mismo. Cuando una solución respecto a otra tiene el mismo número de moléculas disueltas se dice que es una solución **isotónica**. El que la solución sea isotónica no significa que no hay movimiento, sino que el movimiento en una y otra dirección es igual. A esto se denomina un **equilibrio dinámico**.

Cuando una solución tiene un mayor número de moléculas respecto a otra, se denomina solución **hipertónica** y cuando tiene un número menor se denomina solución **hipotónica.** El otro tipo de solución es la tiene la misma cantidad de moléculas o partículas disueltas, respecto a otra solución, y se denomina solución **isotónica**. El efecto de estas soluciones sobre las células y la dirección en que se mueve el agua se observa en la figura 4–8.

Incorporación del agua y los minerales en la planta

A pesar de que existen algunas variantes, en la mayor parte de las plantas vasculares el agua es incorporada dentro de la planta por las raíces. Junto con el agua son incorporados una serie de minerales indispensables para la planta.

Como ya se mencionó en el *Capítulo 3*, las raíces tienen una amplia superficie debida, en gran parte, a los pelos radicales localizados principalmente en las partes jóvenes de la raíz. Son precisamente estas partes jóvenes las principales responsables de la absorción de agua. El agua entra a la raíz, al igual que distintos minerales, por dos caminos, el **apoplástico** y el **simplástico**. El primero es vía las paredes celulares y el segundo es vía los protoplastos a través de los plasmodesmos.

El agua y los minerales en la raíz son transportaos hacia el xilema, donde iniciarán su viaje hacia el tallo y el resto de los órganos florales. La mayor parte del agua va hacia las hojas, debido a que es allí donde es más requerida. El alto requerimiento de agua en las hojas se debe en parte a la utilización de agua en la fotosíntesis, pero principalmente a la alta tasa de transpiración de la hoja. Esto tiene directa

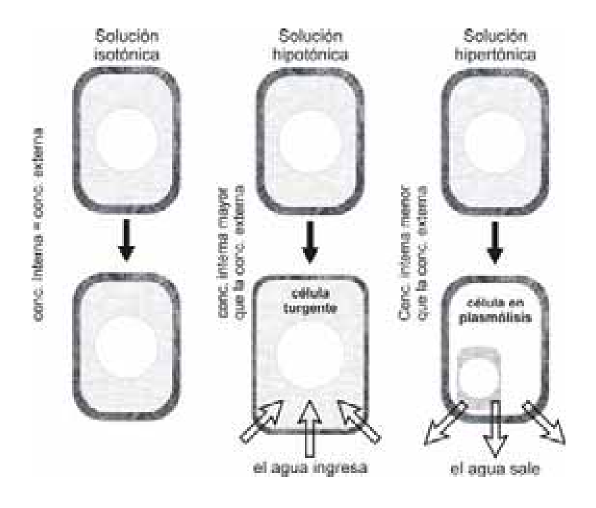


Fig. 4–8: Efectos de las diferentes soluciones sobre la célula.

relación con el intercambio de gases que se realiza principalmente en las hojas y que se verá a continuación.

Intercambio de gases

El **intercambio de gases** es el proceso por el que ciertos gases como el oxígeno y el vapor de agua salen de la planta, mientras que el dióxido de carbono ingresa. Este proceso, con algunas variantes, prácticamente todos los órganos de la planta. Sin embargo, se da con mayor intensidad en las hojas y por ello solo se describirá el intercambio gaseoso en este órgano.

La hoja tiene una cutícula relativamente impermeable (véase *Capítulo 3*) y por ello el intercambio gaseoso solo puede darse a través de los estomas (Fig. 4–9). Por estas aberturas es por donde salen el oxígeno y el agua. El primero es un producto de la fotosíntesis, cuya importancia para el resto de los organismos es evidente. Es por el aporte de oxigeno que realizan las plantas que se dice que los grandes bosques constituyen los pulmones de la tierra. Lo cual en cierta forma es en especial cierto para los animales, ya que si los bosques desaparecen (como viene ocurriendo en todo el mundo) la cantidad de oxígeno podría verse afectada.

En la dirección opuesta va el dióxido de carbono (CO_2), que es el principal substrato de la fotosíntesis. Como se verá más adelante la planta requiere tener una cierta cantidad de CO_2 para realizar la fotosíntesis, por lo que es crítico que la hoja pueda realizar el intercambio de gases.

El vapor de agua en cambio, no es un producto del que la planta "desee" desprenderse, pero lo pierde por transpiración al realizar el intercambio gaseo. A diferencia del oxígeno la planta no puede "producir" el agua que utiliza y debe absorberla del suelo. Por ello, la disponibilidad de agua constituye una fuerte limitante para el intercambio gaseoso necesario.

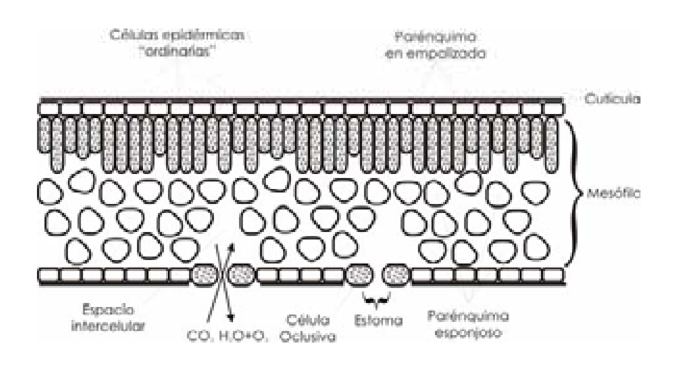


Fig. 4–9: Intercambio de gases en la hoja.

Para resolver el problema de una excesiva perdida de agua, las plantas han desarrollado la cutícula y las células oclusivas. Estas células les permiten regular la perdida de agua. Las células de la cutícula hacen impermeable la mayor parte de la superficie de la hoja y las oclusivas cierran los estomas en caso de estarse perdiendo demasiada agua. Además, muchas plantas han desarrollado estrategias fisiológicas complejas para poder disponer de CO_2 para la fotosíntesis sin perder agua en exceso. Esto se verá con más detalle al final del presente capítulo

Muchos compuestos no son incorporados a la planta sino que deben ser sintetizados.

Como ya se destacó anteriormente las plantas generalmente son organismos autótrofos. Es decir, que no requieren incorporar las sustancias nutritivas que necesita, sino que puede sintetizarlas a partir des sustancias inorgánicas simples. Esta capacidad característica de las plantas se debe principalmente a su capacidad de aprovechar la energía lumínica y transformarla en energía química por un proceso denominado fotosíntesis, el cual se describirá a detalle a continuación.

FOTOSÍNTESIS

La vida en el planeta tierra es impulsada por energía solar que llega a nosotros en forma de luz. Ello se debe a que casi todos los organismos dependen del producto de la fotosíntesis, que como sabemos, utiliza la energía proporcionada por la luz solar. Además, en las plantas superiores la fotosíntesis libera el oxígeno que todos los organismos **aeróbicos** respiran y fue gracias a este proceso que en la atmósfera existe oxígeno libre. No obstante, debemos señalar que existen organismos que a pesar de ser **fotosintéticos** no liberan oxígeno a la atmósfera, pero estos son microorganismos y se encuentran fuera del área de estudio de la botánica.

La fotosíntesis, en general, permite al organismo fotosintético capturar la luz solar y utilizarla para formar compuestos orgánicos a partir de moléculas de CO_2 (dióxido de carbono) y H_2O (agua), liberando O_2. Este proceso es complejo e implica

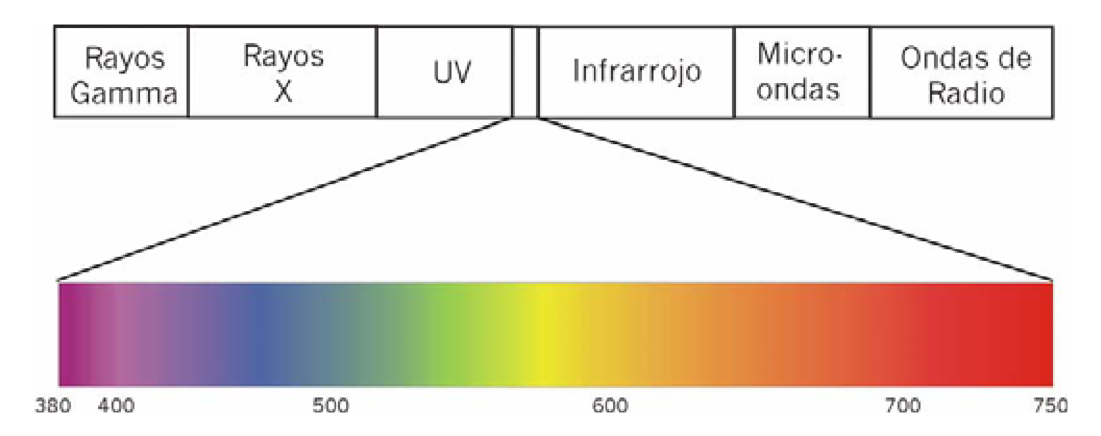


Fig. 4–10: Espectro electromagnético de luz visible.

una serie de reacciones químicas, pero se puede resumir de la siguiente forma:

$CO_2 + H_2O$ + energía lumínica → $(CH_2O)_n + O_2$

Los compuestos orgánicos son ricos en energía, mientras que el dióxido de carbono y el agua no. Ello implica que básicamente lo que hace la fotosíntesis es transformar la **energía lumínica** para convertirla en **energía química**. Para comprender cómo es que esto ocurre, es necesario primero comprender cómo es que la energía lumínica es atrapada y para eso es imprescindible tener al menos una vaga idea de lo que es la luz.

La luz solar y la energía lumínica

A través de la historia ha habido mucha discusión sobre lo que es la luz. Muchos científicos, entre los que podemos citar a Maxwell, Planck y Einstein, propusieron respuestas a esta interrogante. A principios del siglo XX dos teorías quedaron enfrentadas, ambas con significativa evidencia científica. La primera consideraba a la luz como una **onda electromagnética,** mientras que la segunda la consideraba como partículas o paquetes de energía denominados **fotones.** En la actualidad ambas teorías son consideradas válidas y fuera de enfrentarse se complementan. Los fenómenos de **propagación de la luz** pueden explicarse mejor mediante la teoría de la onda electromagnética, mientras que los de las interacciones de la luz con la materia, en los procesos de emisión y absorción, son fenómenos **corpusculares** (Sears et al. 1988**).** Para comprender lo que sucede en la fotosíntesis será necesario que utilicemos ambos conceptos. El primero que utilizaremos será el de la onda electromagnética estableciendo que la distancia entre las crestas es la **longitud de onda**.

En la figura 4–10 se aprecia todo el rango de longitudes de onda, que se conoce como **espectro electromagnético**. Se aprecia con claridad que el **espectro visible** forma apenas una pequeña porción del espectro electromagnético. La luz visible para el ojo humano va desde aproximadamente 380 nanómetros hasta más o menos 750 nanómetros, que significa que va desde el violeta hasta el rojo. Es precisamente entre estas longitudes que las plantas absorben la luz. Los picos de mayor absorción están en la región del azul y rojo (Fig. 4–11).

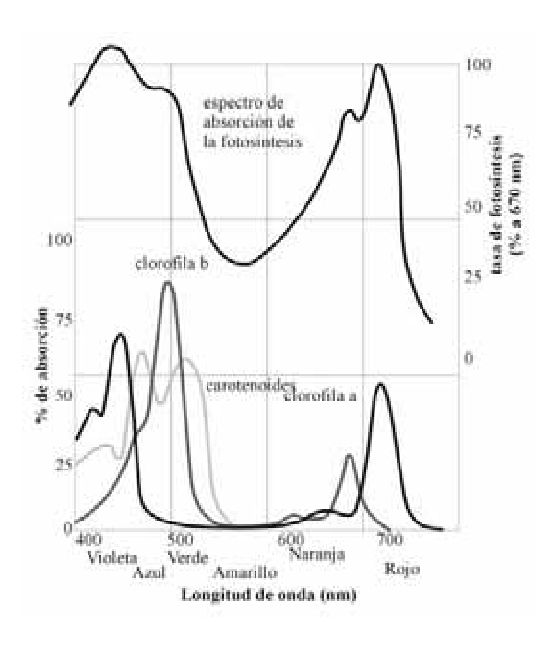


Fig. 4–11: Comparación de los espectros de absorción de la fotosíntesis y los principales pigmentos fotosintéticos.

Pigmentos

Ciertas estructuras tienen la capacidad de absorber diferentes longitudes de ondas y reflejar otras. Tales estructuras se conocen como **pigmentos** y son utilizadas por los organismos fotosintéticos para absorber la energía lumínica.

Es común el pensar que si un pigmento es de color azul es porque absorbe la luz azul. Sin embargo, esta apreciación no suena tan coherente si se observa un pigmento de color negro, porque en realidad no existe luz negra. En realidad el color que vemos en los pigmentos es el color de luz que el pigmento no absorbe o la combinación de varios colores que el pigmento no absorbe y más bien refleja. Por lo tanto, cuando un pigmento, como en la mayor parte de las plantas, es de color verde quiere decir que este no absorbe la luz verde. El patrón de absorción de un pigmento se conoce como el **espectro de absorción** de esa substancia (Fig. 4–11) (Curtis & Barnes 1996).

En las plantas existe una gran cantidad de pigmentos con diferentes funciones, pero solo veremos los más importantes y comunes para la fotosíntesis. En general existen dos tipos de pigmentos que impulsan la fotosíntesis, las **clorofilas** y los **carotenoides.** Las diferentes clorofilas varían ligeramente en las longitudes de onda que absorben, debido a pequeñas diferencias en sus estructuras moleculares que son muy complejas. La clorofila más común es la **clorofila a** y a ella le sigue la **clorofila b**, aunque también puede encontrarse la **clorofila c**. A parte de las clorofilas son comunes e importantes otros pigmentos como los carotenoides y las ficobilinas. En las plantas los pigmentos fotosintéticos se encuentran en la membrana interna del **cloroplasto** (véase en el *Capítulo 3*).

En la figura 4–11, se puede apreciar los diferentes espectros de absorción de las dos principales clorofilas y el espectro de acción de la fotosíntesis. A pesar de que los picos de las curvas presentadas en la gráfica no coinciden perfectamente, existe una clara similitud que evidencia la directa relación entre las curvas. La relación entre estas curvas varía en diferentes grupos de plantas, en los que algunos otros pigmentos, como los carotenoides llegan a cumplir un importante papel para la fotosíntesis.

¿Pero cómo es que estos pigmentos atrapan la energía proporcionada por la luz visible y qué es lo que sucede después de que lo hacen? Para responder esta pregunta deberemos tomar a la luz como paquetes discretos de energía o fotones. Entonces cuando un pigmento absorbe un fotón uno de sus electrones que se encuentra en lo que se llama un nivel bajo de energía se excita al ganar energía potencial. El **estado de excitación** es muy inestable y generalmente el electrón cae a su nivel bajo inmediatamente, liberando su exceso de energía como calor. Otros pigmentos, separados de la célula, además de despedir la energía en forma de calor lo hacen en forma de luz y a esto se conoce como **fluorescencia**.

La fluorescencia puede ser fácilmente apreciada en laboratorio aislando la clorofila en una solución con solventes orgánicos (éter, alcohol, etc), pero no refleja el comportamiento de la clorofila dentro de un cloroplasto. A diferencia de la clorofila en solución, la que se encuentra en los cloroplastos pasa su electrón excitado a una molécula vecina por un proceso de oxidación–reducción. (Fig. 4–12). La molécula vecina que recibe el electrón se conoce como **aceptor primario de electrones** y se **reduce** mientras que la clorofila se **oxida**. Esta reacción es la que da inicio a la fotosíntesis a la que dividiremos en dos fases, la **fase lumínica** y la **fase oscura**. Los denominativos de estas fases NO se refieren a que

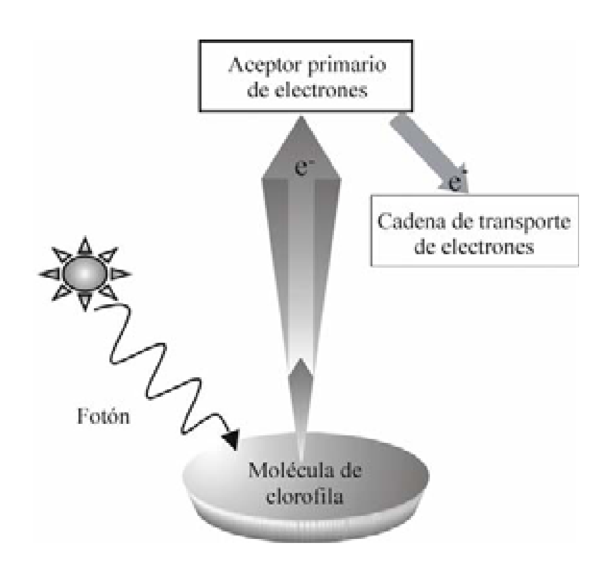


Fig. 4–12: Esquema que muestra la excitación de una molécula de clorofila, en una célula viva.

una se da en el día y la otra en la noche, sino mas bien, a su dependencia de la luz. Es decir que la principal diferencia entre estas fases es que la primera requiere de la presencia de luz, mientras que la segunda no.

Fase lumínica

La primera fase en la fotosíntesis es la lumínica. Comienza con la absorción de luz por los pigmentos fotosintéticos. Como se verá más adelante esta fase constituye el punto de partida para toda la fotosíntesis.

Las moléculas de la clorofila se encuentran agrupadas (forman grupos de 200 a 300 moléculas) en la membrana de los **tilacoides** que a su vez se encuentran en los cloroplastos. Existe evidencia que sugiere que solo un par de las moléculas de clorofila a en cada grupo dona electrones excitados al aceptor primario de electrones. Este par que cede los electrones se denomina **centro de reacción**. El resto de los pigmentos fotosintéticos que conforman la agrupación cumplen un papel de antena recolectora de luz. Su función es la de acaparar y concentrar la mayor energía posible para el centro de reacción. El conjunto que forman las moléculas de la antena el centro de reacción y el aceptor primario de electrones se conoce con el nombre de **fotosistema** (Fig. 4–13) (Campbell et al. 1994).

En las plantas existen dos tipos de fotosistemas. En el primero el centro de reacción está compuesto por clorofila a y se conoce como $\mathbf{P_{700}}$. Este primer fotosistema es denominado **fotosistema I**. El segundo fotosistema es conocido como **fotosistema II** y se diferencia del primero por tener en su centro de reacción un pigmento de clorofila a conocido como $\mathbf{P_{680}}$**.** La letra "P" significa pigmento y los números 700 y 680 asignados a los pigmentos se refieren a la longitud de onda a los que estos alcanzan su mayor absorción o rendimiento. Es decir a la longitud de onda a la que estos pigmentos alcanzan su mayor pico de absorción y en la que se produce el salto de electrones.

Se cree que los fotosistemas evolucionaron de forma separada porque, como se verá más adelante, el fotosistema I puede operar independientemente del fotosistema II, pero este último no puede operar sin que el primero esté presente. Esto sugiere que el fotosistema I ha evolucionado primero. Sin embargo, por lo general, en las plantas superiores los fotosistemas trabajan juntos, de forma simultánea y continua.

Cuando los dos fotosistemas están presentes (Fig. 4–14) el proceso se inicia en el fotosistema II, donde un centro de reacción P_{680} recibe la energía lumínica atrapada por el fotosistema y transfiere un electron al aceptor primario de elctrones. Entoces ocurren los siguientes cuatro fenómenos:

1. El electrón transferido pasa por una **cadena de transporte de electrones**, donde se genera ATP. El aceptor primario que recibió el electrón lo transfiere, oxidandose, a otro aceptorde electrones que se reduce y así suecesivamente creandose un transporte de iones H^+ que crea un

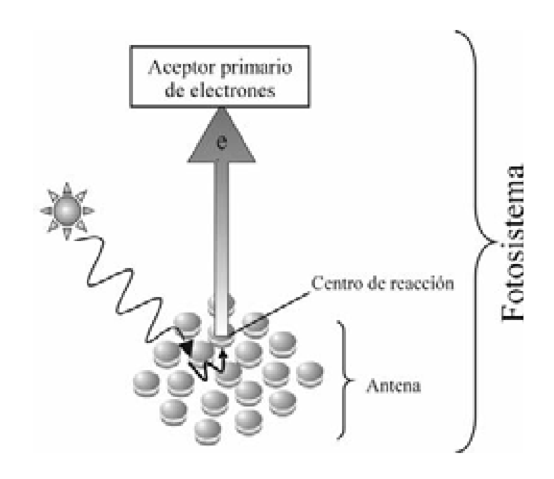


Fig. 4–13: Esquema de un fotosistema, y la excitación que sufre con la luz.

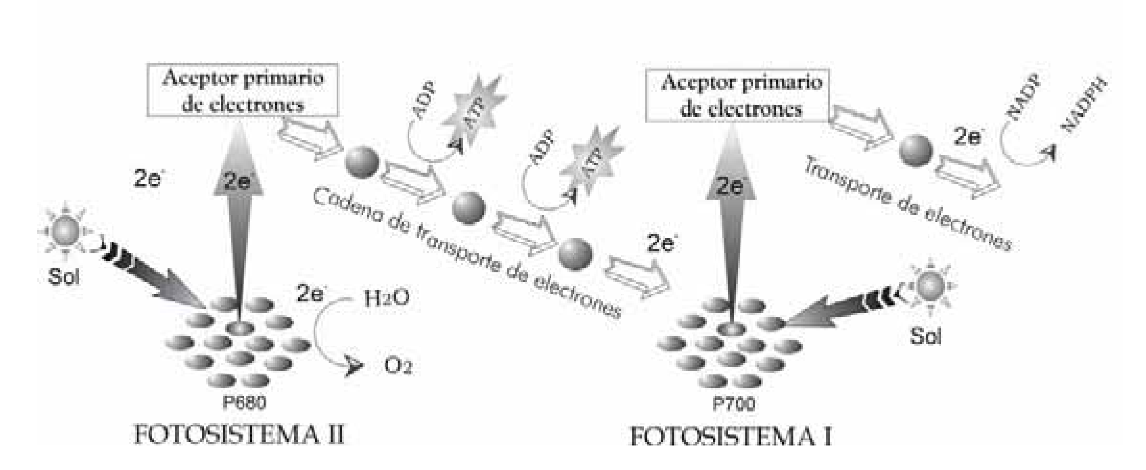


Fig. 4–14: Transporte de electrones de la fase lumínica de la fotosíntesis, cuando los fotosistemas I y II están presentes.

gradiente electroquímico. Este gradiente es el que proporciona la energía para la producción del ATP.

2. Se produce la **fotólisis del agua**, que cede un electrón al fotosistema II reponiendo el electrón transferido a la cadena de transporte de electrones. Al mismo tiempo se libera oxígeno molecular (gaseoso) e iones de hidrógeno.
3. En el fotosistema I, el centro de reacción P_{700} atrapa energía lumínica y un electrón es transferido al aceptor primario que lo conduce hacia una molécula de $NADP^+$. La molécula de $NADP^+$ se reduce formando NADPH.
4. El electrón perdido por el centro de reacción P_{700} es reemplazado por el proveniente del fotosistema II.

Fosforilación cíclica

Como ya se mencionó, el fotosistema I puede funcionar independientemente. Cuando ello sucede, no se forma NADPH, no se hidroliza el agua ni se libera oxígeno. Los electrones transferidos del P_{700} al aceptor primario de electrones no son transferidos por la cadena que conduce al $NADP^+$, sino que son conducidos por una cadena que los conduce nuevamente al P_{700}. Esta cadena de electrones produce ATP como se aprecia en la figura 4–15 y a este proceso, por el cual el fotosistema I trabaja independientemente se conoce como **flujo cíclico de electrones.**

Se cree que los sistemas fotosintéticos más primitivos funcionaban de esta manera. También se cree que el flujo de electrones y la fosforilación cíclica se dan cuando las células poseen grandes reservas de NADPH pero requiere ATP adicional para otras necesidades metabólicas (Raven et al. 1991). Además, observan variaciones morfológicas en los grana de acuerdo a la cantidad de fotosistemas II que poseen. Cuando no hay muchos fotosistemas II los grana sufren un mayor apilamiento.

Fosforilación fotosintética

La **fosforilación**, que es la adición de un grupo fosfato a una molécula, constituye parte esencial de la fotosíntesis, ya que gracias a esto se forma el ATP necesario para el resto de la fotosíntesis. Existe una gran semejanza en la formación de ATP en las mitocondrias durante la respiración y en los

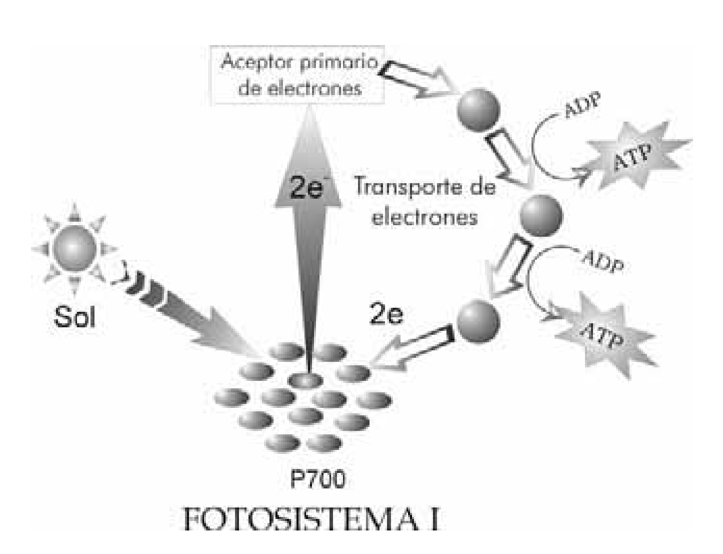


Fig. 4–15: Fotosistema I cíclico. Se presenta en la fase lumínica de la fotosíntesis cuando no interviene o no está presente el fotosistema II.

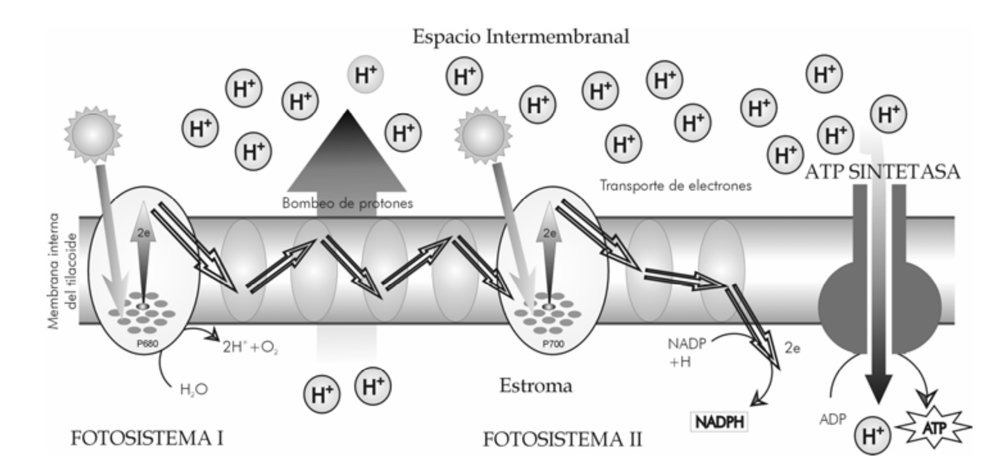


Fig. 4–16: Producción de ATP y NADPH, producto del transporte de electrones en la fase lumínica de la fotosíntesis.

cloroplastos durante la fotosíntesis. Tanto en los cloroplastos como en las mitocondrias, las cadenas de transporte de electrones están constituidas por **citocromos** y proteinas. Los citocromos y proteinas se encuentran incluidos en la mebrana interna del cloroplasto, pero en especial en la membrana de los **tilacoides**. Éstas membranas son impermeables a los iones H^+ y a medida que los electrones van circulando por la cadena de transporte los iones H^+ son transportados y se van acumulando a un solo lado de la membrana. Así se forma un **gradiente electroquímico** que aprovecha la enzima **ATP–sintetasa** para producir ATP. Esta enzima se encarga de catalizar la reacción de formación del ATP a partir de una molécula de ADP y fosfato. Quizá resulte más fácil entender todo esto si se observa la figura 4–16 o si se compara este fenómeno con el de en una represa hidroeléctrica. Allí los iones H^+ serían el agua, la membrana la represa y las ATP–sintetasas las turbinas que en vez de generar ATP, generan electricidad.

Fase oscura

El nombre de **fase oscura** da la falsa idea de que este fenómeno siempre ocurre en ausencia de luz. Evidentemente, en algún caso se da que la **fase oscura** ocurre en la oscuridad, pero puede también darse con luz. Como se explico anteriormente, en realidad su denominación se refiere a que éste fenómeno no depende de la presencia de luz. Es decir, que puede darse haya o no luz.

La serie de reacciones que se dan en la fase oscura forman un ciclo que es denomina **Ciclo de Calvin** (que recibió su nombre por su descubridor) y ocurre en el **estroma.** Este proceso utiliza CO_2, ATP y NADPH para sintetizar **G3P** (gliceraldehído–3–fosfato). A partir de esta molécula, la célula sintetiza glucosa y otras moléculas orgánicas que le sirven como fuente de energía y/o como material para la síntesis de sus estructuras. Para entender mejor el proceso, lo dividiremos en cuatro etapas o pasos que convendría seguir con la figura 4–17. Además, aunque cada vuelta del ciclo fija solo una molécula de carbono en la descripción del ciclo se toman 3 moléculas que producen 1 gliceraldehido 3–fosfato G3P (Raven et al. 1991)

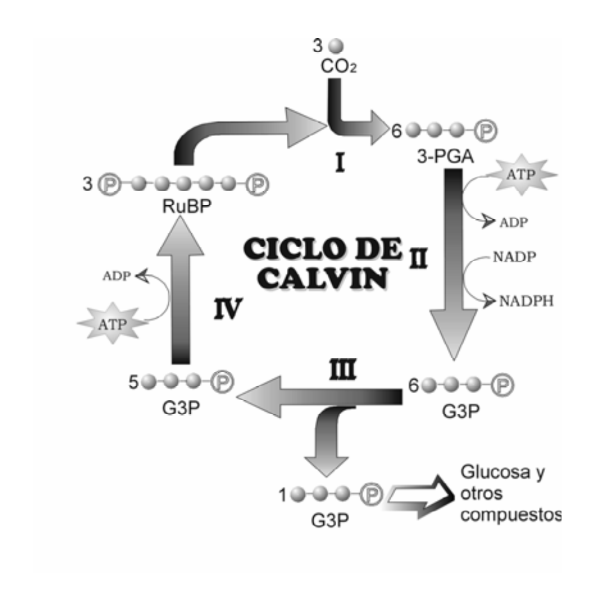


Fig. 4–17: Fijación del carbono en el ciclo de Calvin.

I. En este paso se da la fijación del carbono y se conoce como la fase de **carboxilación**. Una enzima denominada **RuBP carboxilasa**, pero también conocida como **rubisco,** combina tres moléculas de CO_2 (dióxido de carbono) con tres moléculas de cinco carbonos, conocidas como **ribulosa–1,5–bifosfato** o también **RuBP** Como resultado de este proceso, se tienen seis moléculas de tres carbonos llamadas **fosfoglicerato** o **PGA**.

II. En esta segunda etapa es en la que se da el consumo de energía y la reducción por NADPH. Es decir donde entran en acción el ATP y el NADPH producidos en la fase lumínica. Con ellos se forman 6 moléculas de G3P.

III. El tercer paso el la liberación de una molécula de G3P. Cinco de las G3P permanecen en el ciclo mientras que una los deja. Una célula vegetal utiliza dos moléculas de G3P para la síntesis de una glucosa. Ya que como se dijo cada vuelta del ciclo fija solo un carbono, se requieren 6 vueltas para la formación de una glucosa. Fuera de la glucosa se sintetizan otras moléculas a partir de G3P.

IV. Regeneración de la RuBP. En esta etapa se dan una serie de reacciones complejas con consumo de energía (ATP). Estas reacciones regeneran la molécula de RuBP para que el ciclo de Calvin continúe.

El ADP y el NADP –que resultan de la fase oscura de la fotosíntesis– pasan a ser utilizados en la fase lumínica para regenerar moléculas de ATP y NADPH. De esta manera, se cierra el círculo de la fotosíntesis. Un resumen de todo el proceso se aprecia en la figura 4–18.

Existen plantas que presentan una serie de variantes de la fotosíntesis y lo presentado solo corresponde a un esquema muy general de este proceso. En la realidad, este esquema solo representa la fotosíntesis de las plantas denominadas **plantas C_3**.

Las plantas C_3 y la fotorespiración

Las plantas C_3 reciben este denominativo porque en la etapa de fijación se producen compuestos de tres átomos de carbono (ácido fosfoglicérico) (Achá & Fontúrbel, 2000). Las plantas C_3 tienen mucho éxito en ambientes húmedos y no muy cálidos. Ejemplo de estas plantas son la soya y el arroz. En ambientes cálidos y secos este tipo de plantas presenta serios problemas de crecimiento, debido a que su actividad fotosintética se ve reducida en tales condiciones atmosféricas. Las altas temperaturas y la poca humedad promueven que las estomas se cierren para conservar agua y no permitan el paso de CO_2 de la atmósfera hacia las células de la planta. Al mismo tiempo el cierre de las estomas evita que el oxígeno salga de las hojas. De esta manera las concentraciones de CO_2 pueden llegar a niveles muy bajos y las de O_2 a niveles muy altos. En tales condiciones la enzima rubisco, que encargada de fijar el CO_2, fija moléculas de O_2 y como resultado del ciclo de Calvin se obtiene un compuesto de dos carbonos. Éste compuesto se desintegra en una molécula de H_2O y en otra de CO_2. A todo este proceso se lo conoce como **fotorespiración** y no produce compuestos útiles para la síntesis de estructuras ricos en energía como la glucosa.

En la fotorespiración se da un consumo de ATP "inútil" ya que no existe formación de G3P. Por lo tanto, una alta tasa de fotorespiración conduce a un menor crecimiento y rendimiento de la planta. Sin embargo, cuando las concentraciones de CO_2 son muy bajas este proceso es necesario porque permite que la planta recicle y regenere el RuBP.

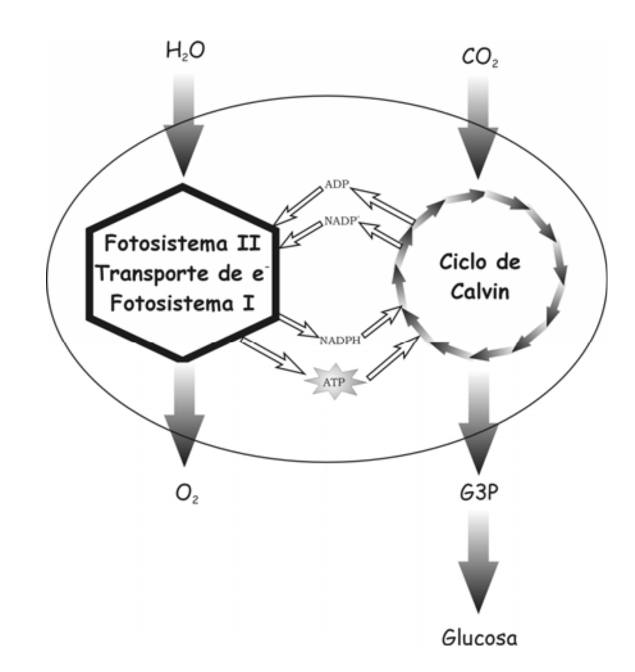


Fig. 4–18: Resumen de la fotosíntesis.

Dado que la fotorespiración no resulta beneficiosa para la planta, numerosas plantas han desarrollado diferentes estrategias que les permiten evitar este proceso. Dos de los grupos más importantes de estas plantas son las plantas denominadas C_4 y CAM, que se describen a continuación.

A continuación se describen las características distintivas y la fotosíntesis que llevan a cabo las **plantas C_4** y **CAM**.

Las plantas C_4

Las plantas C_4 a diferencia de las plantas C_3 fijan el CO_2 inicialmente en una molécula de cuatro carbonos, que puede ser malato o aspartato. Es de esta característica que estas plantas reciben el nombre de plantas C_4. De la misma forma la fotosíntesis que realizan se conoce como **fotosíntesis C_4**. En realidad esta fotosíntesis y la fotosíntesis de las plantas C_3 son en similares en ciertos aspectos, pero las diferencias entre estas son de gran importancia.

La fotosíntesis C_4 potencia la incorporación de CO_2 al proceso fotosintético y reduce la perdida de agua por transpiración. Es por eso que gran parte de las plantas lugares cálidos y secos, y fríos y secos son de este tipo.

Los compuestos a los que el CO_2 es fijado inicialmente en estas plantas, a diferencia RuBP, no puede fijar O_2. Es así que, aunque la concentración de CO_2 baje mucho y la de O_2 suba, el CO_2 puede seguir siendo fijado. No obstante, su estrategia para evitar la fotorespiración no solo consiste en utilización de otros compuestos para fijar el CO_2. Además, las plantas C_4 presentan una compartimentalización de la fase oscura. Es decir, que una parte de la fase oscura se da un lugar y la otra en otro lugar.

Inicialmente el CO_2 es fijado en malato o aspartato en las células del mesófilo (ver *Capítulo 3*, organografía) y luego estos compuestos son transportados dentro de las células de la vaina. Allí se libera el CO_2 para ser fijado como fosfoglicerato, que es en la forma en la que se incorpora al ciclo de Calvin anteriormente descrito. Las células de la vaina en las plantas C_4 son muy impermeables al paso de CO_2, y por consiguiente la concentración del dióxido de carbono se mantiene alta dentro de éstas.

El ciclo de la fase oscura de estas plantas implica un mayor gasto de energía ya que para reiniciar el proceso es necesario un ATP. Sin embargo, esta desventaja frente a las plantas C_3 se ve ampliamente compensada si es que las condiciones ambientales favorecen la fotorespiración en las plantas C_3. Además, una planta C_4 puede utilizar menos nitrógeno y agua. El ejemplo clásico de una planta C_4 es el maíz (*Zea mays*) (Achá & Fontúrbel, 2000).

Las plantas CAM

Estas plantas se caracterizan por presentar carboxilaciones separadas en el tiempo. La absorción de CO_2 ocurre durante la noche y recién durante el día se da el ciclo de Calvin. Esta adaptación va más allá que la de las plantas C_4 puesto que se evita la transpiración de gran manera, manteniendo los estomas cerrados durante el día. Al mismo tiempo se evita la fotorespiración, manteniendo la concentración interna de CO_2 lo suficientemente elevada (Achá & Fontúrbel, 2000).

Las plantas CAM más típicas son las crasuláceas y las cactáceas aunque muchas orquídeas, euforbiáceas y otras compuestas también se ajustan a este modelo. Estas plantas usualmente están adaptadas a condiciones tan agrestes como las de los desiertos. En realidad la **fotosíntesis CAM** constituye una de sus principales adaptaciones para vivir en climas muy cálidos y con poca humedad.

Estas plantas fijan el CO_2 en forma de malato exclusivamente durante la noche, cuando la pérdida de agua por transpiración es pequeña. El malato es guardado en las vacuolas, que por lo general se encuentran en abundancia. Esto se debe a que gran parte de las plantas CAM son suculentas y tienen una gran cantidad de parénquima hídrico capaz de almacenar agua y malato. La acumulación del malato es la causa de que los cactus y otras CAM aparezca agrias por la mañana, mientras que la fotosíntesis durante el día convierte el ácido en azúcar por lo que los cactus son mas dulces al final del día (Achá & Fontúrbel, 2000).

Durante el día el malato es descarboxilado y se da el ciclo de Calvin. Es decir, que el CO_2 fijado durante la noche es liberado para entrar a al fase oscura de la fotosíntesis. Durante la descarboxilación es importante el control enzimático para evitar un **ciclo fútil** en el que el dióxido de carbono liberado es nuevamente fijado en malato. El ciclo fútil implica

un coste energético pero no produce productos útiles para la planta. En las plantas C_4 este ciclo se previene situando los pasos de descarboxilación en una parte distinta, como se describió anteriormente. En las plantas CAM, en cambio, se evita por control enzimático (Achá & Fontúrbel, 2000).

Usualmente las plantas CAM son facultativas pudiendo comportarse como plantas C_3 y CAM dependiendo de las condiciones. En *Bryophylum* sp. (familia de las crasuláceas), por ejemplo, días cortos y noches frías hacen que la planta cambie de C_3 a CAM. Esto contrasta con las plantas C_4 que realizan fotosíntesis C_4 de forma obligada.

La naturaleza opcional facultativa de las CAM puede conducir a una progresión que va desde la estricta fotosíntesis C_3 a una mezcla de C_3 y CAM, a CAM plena y hacia lo que se conoce como CAM "inútil" ("idling"). En este último caso los estomas se mantienen cerrados durante el día y la noche. Es te modelo "inútil" no permite una ganancia neta de carbono pero permite que la pérdida del mismo y agua sea extremadamente baja. Esta es la razón por la que algunas plantas CAM pueden sobrevivir durante meses sin sistema radicular (Achá & Fontúrbel, 2000). Es decir que pueden sobrevivir meses sin incorporación de agua o sales a su sistema.

Respiración celular

Como se dijo anteriormente, las moléculas ricas en energía, producidas en la fotosíntesis o incorporadas por la célula, no pueden ser utilizadas directamente. Esta energía debe ser transferida a ATP. El proceso que realiza esta transferencia se conoce como **respiración celular.** El rendimiento de la respiración celular no es de un 100%, pero es asombrosamente alto, si lo comparamos con el aprovechamiento de un motor por ejemplo (Fig. 4–19). Este proceso, al igual que la fotosíntesis, envuelve muchas reacciones y es muy complejo, pero por lo general se lo resume en la siguiente fórmula:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{energía (ATP)}$$

Como se puede ver, la molécula rica en energía (que en este caso es glucosa) se oxida. Esta reacción es totalmente ideal, ya que la respiración celular es un proceso mucho más complejo. Utilizaremos la glucosa como punto de partida para explicar la

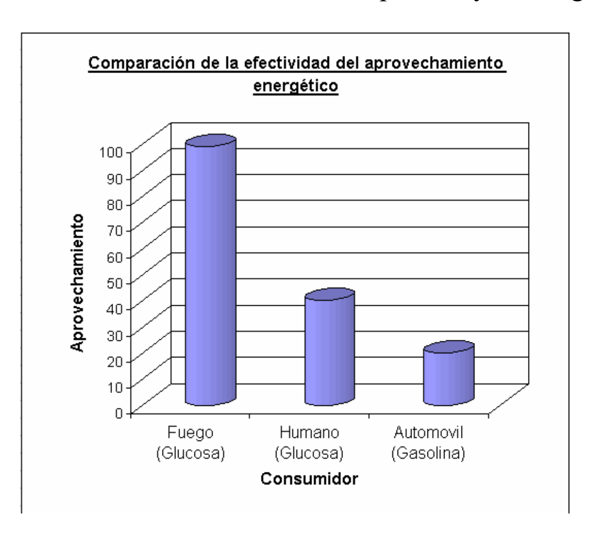


Fig. 4–19: Comparación de la efectividad del aprovechamiento de la energía potencial de las moléculas.

respiración celular. Ello porque el almidón es la principal forma de almacenamiento de energía para la mayoría de las plantas y para su utilización por la célula se debe fragmentar hasta moléculas de glucosa.

Durante la oxidación de una molécula de glucosa se libera energía y para impedir que ésta se disipe, la célula proporciona ADP, que se encargará de capturar el 40% de esta energía (ver figura 4–19). Así se obtienen moléculas de ATP, que como ya se dijo, es la unidad energética de la célula.

Para facilitar el estudio de la oxidación de la glucosa la dividiremos en varias etapas. La primera es la **glucólisis**, la segunda el **ciclo de Krebs** y la tercera el **transporte de electrones.**

Glucólisis

Ocurre en el citoplasma de la célula y es el proceso por el cual la glucosa se oxida parcialmente hasta transformarse en dos moléculas de **ácido pirúvico** de 3 carbonos cada una (Fig. 4–20).

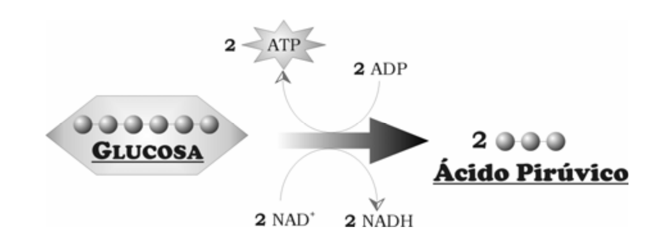


Fig. 4–20: Resumen del proceso de glucólisis.

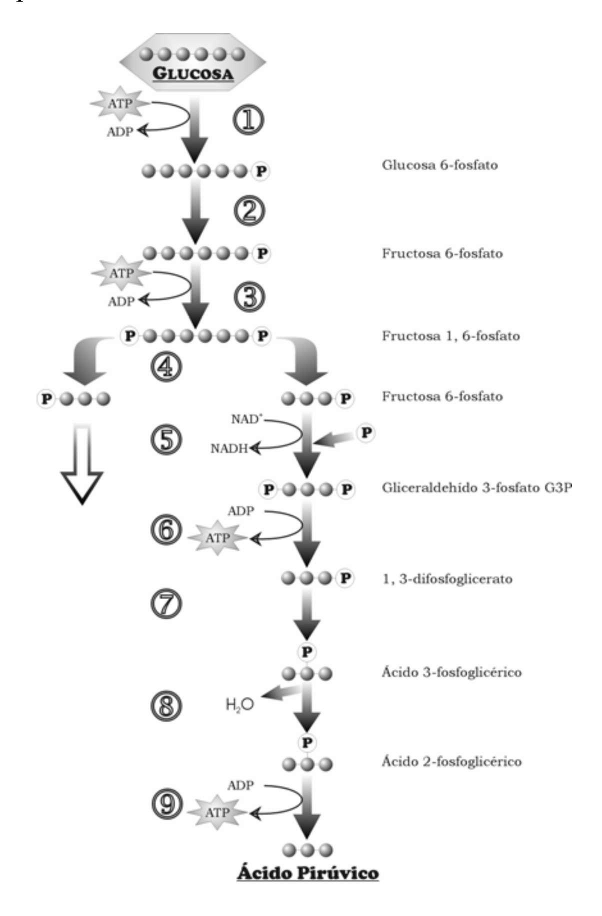


Fig. 4–21: El proceso de glucólisis, paso a paso.

La glucólisis es un fenómeno que implica una serie de reacciones químicas o pasos muy complejos. Por ello, para comprender qué es lo que sucede con la molécula de glucosa y tener una idea de cuándo y dónde se forman los compuestos resultantes de este proceso, debe observarse la figura 4–21, al tiempo de seguir los siguientes pasos:

1. Activación de la glucosa. Se produce el ingreso de energía en forma de un ATP. Como resultado, la glucosa queda adherida a un fosfato, formándose la **glucosa 6–fosfato** y un ADP.

2. Con la ayuda de una enzima, la molécula de glucosa 6–fosfato se reorganiza, dejando su característica forma de anillo hexagonal para tomar la forma pentagonal de la fructosa. La molécula resultante es la **fructosa 6–fosfato**.

3. Ahora ocurre un fenómeno similar al del inciso 1. Se produce el ingreso de energía en forma de un ATP. Como resultado otro fosfato queda unido a la fructosa 6–fosfato, formándose un ADP y **fructosa 1,6–fosfato**.

4. La molécula de fructosa 1,6–fosfato es altamente reactiva y se divide en dos moléculas de tres carbonos. Estas moléculas son conocidas como **gliceraldehído 3–fosfato G3P** y ya fueron vistas en la fotosíntesis. En la figura 4–17 solo se muestra lo que sucede con una de las moléculas de G3P. Por lo tanto es necesario multiplicar por dos todos los compuestos resultantes o adicionados.

5. Los gliceraldehídos 3–fosfatos se oxidan, es decir, liberan hidrógeno con sus electrones. Esto con la intervención de una molécula de NAD^+, que se reduce a NADH y H^+. Además, un fosfato se une a cada G3P para formar **1,3–difosfoglicerato**.

6. Ahora un fosfato es liberado por la molécula 1,3–difosfoglicerato para recargar una molécula de ADP y transformarla en ATP. Quedan como resultado una molécula de ATP y **ácido 3–fosfoglicérico**.

7. El grupo fosfato del ácido cambia de posición dentro de la molécula, así se forma el **ácido 2–fosfoglicérico.**

8. Se elimina una molécula de agua del ácido, produciendo un reordenamiento interno que conduce a que la energía se concentre cerca del grupo fosfato.

9. El fosfato restante es transferido a una molécula de ADP, que se transforma en ATP. Como resultado, fuera del ATP, se forma el **ácido pirúvico**.

Después de finalizar la glucólisis el ácido pirúvico puede seguir tres vías, la aerobia, la anaeróbica y la fermentativa. No obstante, solo se estudiará la vía aeróbia por ser la que se presenta con más frecuencia en las planas. La vía anaeróbica puede darse en las raíces de plantas en suelos inundados.

Vía aerobia

El ácido pirúvico pasa del citoplasma a la mitocondria. Aquí es donde ocurre el **ciclo de Krebs**, pero la molécula de ácido pirúvico no entra directamente al ciclo. Como se ve en la figura 4–22, cada molécula de ácido pirúvico sufre una serie de transformaciones químicas (se puede decir que la

molécula es preparada para entrar al ciclo Krebs). Primeramente se oxida mientras que una molécula

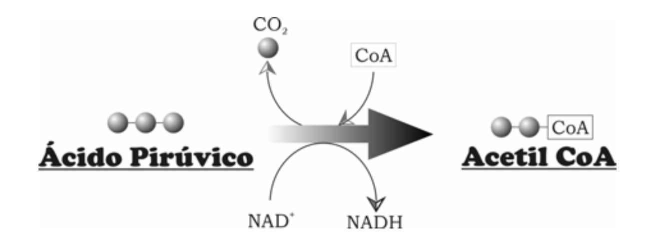


Fig. 4–22: Preparación para el ciclo de Krebs.

de NAD^+ se reduce a NADH. Después, un átomo de carbono es removido en forma de CO_2 y finalmente un compuesto conocido con el nombre de **coenzima A** se une a los dos carbonos restantes formando el **acetil CoA** (acetil coenzima A). Este último compuesto es el que entrará en el ciclo de Krebs.

Ciclo de Krebs

El **ciclo de Krebs** es proceso en el que completa la oxidación de la glucosa y donde entra en acción el oxígeno (Fig. 4–23).

Para hacer más fácil el seguimiento del proceso se lo divide en los siguientes pasos:

1. El acetil CoA inicia el ciclo cuando la coenzima A se separa dejando dos carbonos que constituyen el **grupo acetilo.** Este grupo se une a la molécula de cuatro carbonos conocida como **ácido oxáloacético,** ya presente en la mitocondria, El producto de esta reacción es un compuesto de seis carbonos denominado **ácido cítrico**, el cual contiene la mayor parte de la energía del acetil.

2. El ácido cítrico se oxida y pierde un carbono convirtiéndose en alfa cetoglutarato. Como resultado de estas reacciones un NAD^+ se reduce a NADH y se libera una molécula de CO_2.

3. Nuevamente ocurre una reacción redox en la que un NAD^+ se reduce a NADH. Además, una molécula de ATP se genera a partir de ADP y otra molécula de CO_2 es liberada. Así el alfa cetoglutarato pasa a **ácido succínico**.

4. Otra reacción redox permite el paso del ácido succínico a **ácido málico** y la reducción de una molécula de FAD en $FADH_2$.

5. Finalmente el ácido málico se oxida para regenerar el ácido oxaloacético que reinicia el ciclo de Krebs. En esta última reacción redox también se reduce un NAD^+ en NADH.

Cadena de transporte de electrones

En el ciclo de Krebs el proceso de oxidación de la glucosa concluye. No obstante, el proceso de respiración celular no termina aún, porque todavía existen productos ricos en energía que pueden ser aprovechados para producir ATP. Estas moléculas son el NADH y el el $FADH_2$, que como se vió son productos de la glucólisis y del ciclo de Krebs.

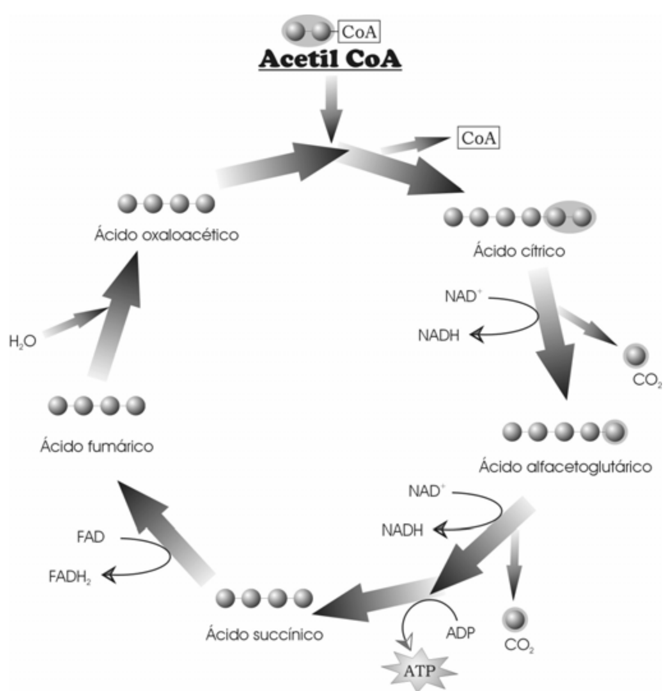


Fig. 4–23: Ciclo de Krebs.

En la respiración aerobia, la mayoría del ATP se genera en la **cadena de transporte de electrones** (Fig. 4–24), que ocurre en la membrana interna de la mitocondria. El fenómeno se asemeja mucho a la cadena de transporte de electrones en la fotosíntesis. Las similitudes más importantes son: (1) Los citocromos tienen un importante papel en el transporte de electrones, que se realiza en la membrana.(2) El ATP se genera gracias a la enzima ATP sintetasa, que aprovecha el gradiente

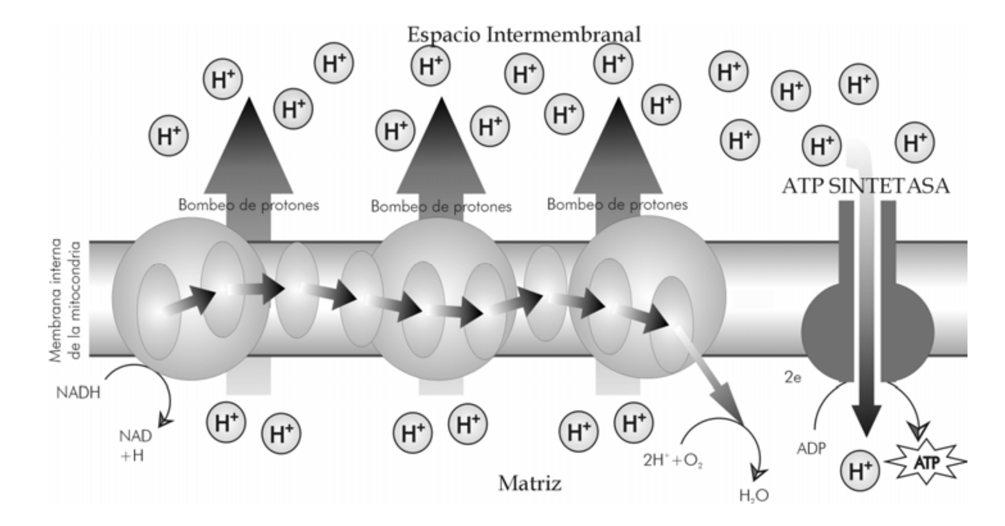


Fig. 4–24: Producción de ATP por el transporte de electrones en la membrana interna de la mitocondria.

electroquímico de iones de hidrógeno producido por el transporte de electrones.

Las principales diferencias entre el transporte de electrones en la fotosíntesis y en la respiración son:

1) En el transporte de electrones de la respiración una molécula de NADH se oxida a NAD^+, mientras que en la fotosíntesis una molécula de $NADP^+$ se reduce a NADPH.
2) En la fotosíntesis ocurre en la membrana de los tilacoides y en la respiración en la membrana interna de la mitocondria.
3) En la respiración puede intervenir una molécula de FADH y en la fotosíntesis no.
4) En la respiración los iones de hidrógeno se combinan con oxígeno para formar una molécual de agua, mientras que en la fotosíntesis se libera oxígeno producto de la disociación de moléculas de agua y no se forma agua o utiliza oxígeno.

La figura 4–24 aclara, de manera muy general, como es que el transporte de electrones en la membrana interna de la mitocondria llega a generar moléculas de ATP y H_2O después de oxidar moléculas de NADH y $FADH_2$. El proceso en sí es muy complejo. No obstante, lo importante es tener una idea general del proceso.

Finalmente es importante realizar un resumen del balance energético del proceso, ya que lo más importante de éste proceso es la transformación energética (Fig. 4–25).

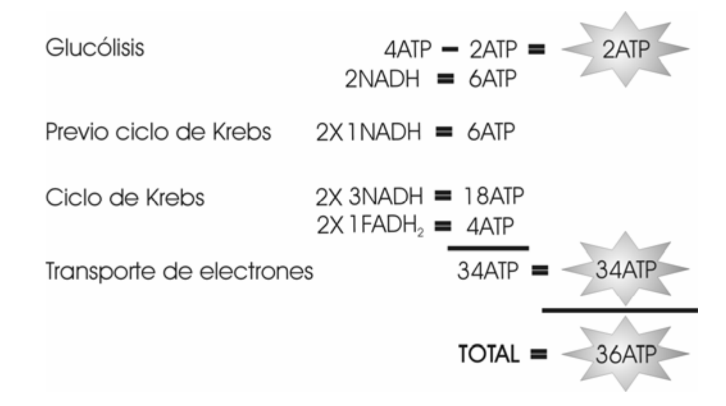


Fig. 4–25: Balance energético de la respiración celular.

CUESTIONARIO

1) ¿Qué son la fisiología vegetal y el metabolismo vegetal?.
2) ¿Cuál es la función e importancia de las enzimas?.
3) ¿Cuál es la moneda energética dentro de la célula?.
4) ¿Cómo las plantas aprovechan la energía proporcionada por la luz solar?.
5) Describe muy brevemente la fase lumínica de la fotosíntesis.
6) Describe muy brevemente la fase oscura y el por qué de su denominación.
7) ¿En qué se diferencian las plantas C_3 de las plantas C_4 y CAM?.
8) ¿Qué es la respiración celular?.
9) ¿Básicamente qué es lo que ocurre en la glucólisis?.
10) ¿Qué es lo que finalmente produce la cadena de transporte de electrones en la respiración celular?.

REFERENCIAS

- Achá, D. & F. Fontúrbel. 2000. *Las Plantas C_3, C_4 y CAM.* Revista Estudiantil de Biología 1 (1): 28–34
- Azcon–Bieto, J. & M. Talón. 1993. *Fisiología y Bioquímica Vegetal,* McGraw–Hill • Interamericana, Madrid, p 91, 102–108, 135–140, 173–187.
- Campbell, N., L. Mitchell & J. Reece. 1994. *Biology Concepts & Connections.* Editorial Benjamin Cummings, EUA, pp 70–77, 89–106, 109–122.
- Curtis, H. & S. Barnes. 1993. *Biología,* 5º edición. editorial Medica Panamericana, Cali, pp 54–57, 193–208, 212–225, 232–253.
- Hein, M. 1992. *Química*. Grupo Editorial Iberoamérica. Colombia, pp 80–81.
- Raven, P., R. Evert & S. Eichhorn. 1991. *Biología de las Plantas,* Tomo I. Editorial Reverté, Barcelona, pp 71–113.
- Sears, F., M. Zemansky & H Young. 1988. *Física Universitaria.* 6º edición, Editorial Addison – Wesley Iberoamericana, EUA, pp 823–824, 971–972.
- Smith, C. & E. Wood. 1997. *Moléculas Biológicas,* Addison – Wesley Iberoamericana, EUA, pp 11–13, 83–122.
- Smith, C. & E. Wood. 1998a. *Biosíntesis,* Addison – Wesley Iberoamericana, EUA., pp 4–6, 28–48, 52–57.
- Smith, C. & E. Wood. 1998b. *Energía en los sistemas biológicos,* Addison – Wesley Iberoamericana, EUA, pp 1–15.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS RECOMENDADAS

- 🕮 Achá, D. & F. Fontúrbel. 2000. *Las Plantas C_3, C_4 y CAM.* Revista Estudiantil de Biología 1 (1): 28–34
- 🕮 Azcon–Bieto, J. & M., Talón. 1993. *Fisiología y Bioquímica Vegetal,* McGraw–Hill • Interamericana Madrid.
- 🕮 Campbell, N., L. Mitchell & N. Reece. 1994. *Biology. Concepts & Connections.* Editorial Benjamin Cummings, EUA.
- 🕮 Curtis, H. & S. Barne.s 1993. *Biología,* 5º edición. Editorial Médica Panamericana, Cali.
- 🕮 Fontúrbel, F. 2001. *Fotosíntesis CAM.* Revista de Biología.org, 4, Madrid, http://www.biologia.org.
- 🕮 Raven, P., R. Evert & S. Eichhorn. 1991. *Biología de las Plantas,* Tomo I. Editorial Reverté, Barcelona.
- 🕮 Smith, C. & E. Wood. 1997. *Moléculas Biológicas,* Addison – Wesley Iberoamericana, EUA.
- 🕮 Smith, C. & E. Wood. 1998. *Biosíntesis,* Addison – Wesley Iberoamericana, EUA.

PÁGINAS EN INTERNET

- ✓ Banco de datos de proteínas en pdb: http://www.rcsb.org/pdb/
- ✓ Modelos proteicos: http://www.chem.ox.ac.uk/proteins/
- ✓ Moléculas y bioquímica: http://www.arrakis.es/~lluengo/biologia.html

Para información actualizada, nuevos enlaces y material didáctico adicional visitar:

http://www.mbotanica.8m.com

CAPÍTULO 5

SISTEMÁTICA Y TAXONOMÍA

Desde tiempos antiguos, el hombre siempre ha tenido la inquietud de ordenar las plantas en grupos, para así poder identificarlas mejor. En cada época de la historia varió la manera de clasificación, en un principio utilizaron métodos utilitarios y en base a formas de vida, luego vinieron lo sistemas artificiales y finalmente los naturales.

Los primeros intentos de **clasificación sistemática** los realizaron los griegos y romanos, basándose principalmente en características de crecimiento. Luego se consideraron otros parámetros de clasificación en base a diferentes caracteres morfológicos hasta que en el año 1753, Carlos Linneo propuso el sistema de clasificación por medio de estructuras reproductoras y el reducir los nombres de las especies a un binomio que sintetice las características de la planta. Las bases de esta nomenclatura binomial las veremos más adelante.

La sistemática de las plantas se basó y se basa todavía en sistemas. Estos sistemas son los utilitarios, los artificiales, los naturales y los genéticos.

La ciencia que se encarga de la clasificación y denominación de los vegetales es la botánica sistemática, la cual tiene dos ramas importantes que son la taxonomía y la nomenclatura.

La taxonomía es la parte de la Sistemática que proporciona los principios (reglas) y procedimientos para realizar una clasificación, ya que siguiendo diferentes principios podemos obtener diferentes clasificaciones.

La nomenclatura es la parte de la Sistemática que crea nombres para designar a las plantas o grupos de plantas (taxa). La creación de los nombres está regulada por un conjunto de normas reunidas en el Código Internacional de Nomenclatura Botánica.

Esta nomenclatura es uno de los pilares fundamentales para la clasificación botánica, ya que mientras más conocimiento se tiene sobre la terminología o vocabulario descriptivo de las plantas, más fácil se toma el proceso de identificación. Con relación a esto, la preparación, preservación y conservación de los especimenes coleccionados proporciona una ayuda muy importante para el taxónomo; también la ecología tiene un papel importante en la sistemática, ya que un buen taxónomo no solo tiene que conocer a las especies, identificarlas y relacionarlas, sino que también debe tener conocimientos sobre su distribución biogeográfica, variación, poblaciones y desarrollo en diferentes ambientes.

Para poder desarrollar una buena sistemática y taxonomía, es importante establecer las diferencias entre **identificar** y **determinar** taxonómicamente.

Identificar. Taxonómicamente, se refiere a la comparación del organismo que se quiere clasificar con pliegos de herbario por simple confrontación

Determinar. Se ordenan especies completamente desconocidas por medio de claves dicotómicas, comparación con tratamientos taxonómicos y comparación con especies correctamente determinadas con especialistas.

HISTORIA DE LA SISTEMÁTICA Y LA TAXONOMÍA

La sistemática y la taxonomía tienen una larga historia, que se remonta a la época del hombre prehistórico y sigue hasta nuestros días. Esta historia se la ha dividido en cinco épocas, en base a sus características generales. Estas épocas son:

Época del hombre prehistórico

En esta época, los primeros hombres que habitaron el planeta dieron ya una primera idea de clasificación de las plantas, en función a su utilidad.

Época de las grandes civilizaciones

En esta época ya se conocían la lectura y la escritura. Los protagonistas fueron los griegos y los romanos, entre los cuales se destacan Teofrasto, Platón, Aristóteles, Plinio y Dioscorides.

Teofrasto fue el primero en establecer un sistema de clasificación, el año 300 AC, él era estudiante de Platón y Aristóteles, quienes ya tenían una amplia biblioteca y un jardín botánico. Teofrasto es considerado el padre de la botánica.

Plinio y Dioscorides destacan entre los pensadores romanos, puesto que ellos realizaron un sistema de clasificación preliminar para las plantas medicinales y propusieron los primeros nombres científicos en latín para algunas plantas.

Los chinos y los indios también tuvieron influencia en esta etapa, puesto que estas dos culturas recopilaron importantes cantidades de información sobre botánica.

Época de la Edad Media

En esta época la ciencia tuvo un rumbo distinto por las influencias de la iglesia, porque al estar penalizada la brujería (muchas veces la práctica científica se asociaba con ésta), la investigación científica quedó en manos de los religiosos.

Se hicieron algunos avances en la botánica, entre los que destaca el obispo Alberto Magno (1193–1280) que realizó la primera clasificación de las angiospermas en monocotiledóneas y dicotiledóneas, además de hacer una distinción entre plantas vasculares y no vasculares.

También se destaca la importancia de los herbolarios (colecciones de material vegetal, dibujos y descripciones) que se hicieron entre los siglos XIV y XVI. Las figuras más importantes son Otto Brunfels (1464–1534), Jerónimo Bock y Leonardo Fuchs, que recopilaron gran cantidad de información descriptiva de muchas especies.

Época del Renacimiento

En esta época comienza un nuevo resurgimiento de la ciencia, aprisionada por varios siglos durante la inquisición, durante la edad media. El renacimiento abrió las puertas a una era de avance científico, y la botánica sistemática, por supuesto, no se quedó atrás.

En el siglo XVII, Bauhin (1560–1624) realiza un extenso registro de nombres de plantas de uso común, tomando en cuenta nombres alternos, sinónimos y especies repetidas, constituyendo el primer intento serio de nomenclatura botánica.

Tournefort (1656–1708), años más tarde, realiza una clasificación más avanzada entre árboles, arbustos y hierbas a nivel de género, considerando características morfológicas y anatómicas para la clasificación.

Época del Linneo

Se separa esta época del renacimiento por la importancia que tuvo el trabajo de Linneo sobre el estudio de la botánica sistemática.

Carlos Linneo (1707–1778) es considerado el padre de la taxonomía, tanto botánica como zoológica, puesto que fue el que propuso y aplicó la nomenclatura binomial, que se utiliza hasta el día de hoy.

En esta época se desarrollaron más los criterios de clasificación (que se verán a detalle más adelante) y aparecieron los sistemas artificiales, que dieron paso posteriormente a los sistemas naturales.

Esta época fue de mucha importancia para el desarrollo de la botánica sistemática (Fig. 5–1).

Época de la teoría de la evolución de Darwin

Al plantear Darwin, en 1859, la teoría de la evolución y la selección natural, la biología tomó un nuevo rumbo, y con ella la botánica.



Fig. 5–1: La información que se iba recolectando sobre las características y la clasificación de los vegetales se la iba agrupando en tratados de historia natural, como el que se aprecia en la fotografía, los cuales daban una amplia descripción y usualmente incluían ilustraciones.

Esta revolucionaria teoría propició un cambio en la manera de clasificar y organizar los individuos, se consideraron menos parámetros para la clasificación, pero se tomaron criterios de mayor importancia. Esta época es la que estamos viviendo actualmente, y en los últimos cien años ha habido muchos avances.

Entre los trabajos más importantes se destacan la obra de Engler y Prantl, y la de Cronquist.

CLASIFICACIÓN

Clasificar es la acción que realiza la ciencia o estudio de la Clasificación, es la ordenación de plantas (u otras entidades) en grupos de tamaño creciente, dispuestos de una manera jerárquica (sistema o jerarquía de niveles o categorías).

La clasificación de los organismos deriva de un proceso ordenado, que resulta de la comprobación de ciertas características (no recíprocamente), además de las que son comunes con sus descendientes. Las divisiones en que puede ordenarse el reino vegetal se basan en los siguientes caracteres (según Marzocca 1985):

Morfológicos: Las plantas que pertenecen a un mismo grupo presentan una serie de caracteres de forma semejante: corola, estambres, carpelos (Fig. 5–2). Se recomienda ver el segundo anexo al final de este libro, donde se encontrarán esquemas útiles sobre organografía.

Histológicos: Existen grupos taxonómicos con diferencias estructurales respecto a otros grupos (por ejemplo, hay gimnospermas con vasos cerrados o traqueidas y otras con tráqueas o vasos abiertos, que son más evolucionados).

Cariológicos: Según el número y estructura de los cromosomas del núcleo celular.

Genéticos: Por la comparación de secuencias de ADN cromosomal o mitocondrial conservadas a diferentes niveles taxonómicos y que permiten establecer distancias filogenéticos.

Serológicos: Según la composición, calidad y efectos del protoplasma (composición proteica) celular.

Fitogeográficos: Según el área de distribución.

Reproductivos: Ciclos de vida, alternancia de generaciones (ver *Capítulo 7*).

Sistemas de Clasificación

El principio que mueve toda clasificación es el mismo: los caracteres que poseen en común (comparten) las unidades a clasificar. Respecto a las plantas existe una evolución de los criterios taxonómicos y se pueden establecer varias formas de clasificación. La **taxonomía popular** fue la primera, se basaba en principios útiles La **taxonomía científica** aparece por la necesidad de identificar, nombrar, clasificar y comunicar el conocimiento acerca de la gran cantidad de plantas existentes. Esta taxonomía ha derivado en lo que hoy se conoce como sistemas artificiales, naturales y genéticos.

Los **sistemas utilitarios** se derivan de la taxonomía popular, éstos se basaron en el agrupamiento de los organismos por las utilidades que representaban para el hombre. Así, se las clasificaron en plantas comestibles, medicinales, textiles, venenosas.

Los **sistemas artificiales** se basan en el agrupamiento de los vegetales de forma muy superficial, tomando en cuenta para esta clasificación un carácter único y no así un conjunto lógico de caracteres.

El **sistema natural evolutivo** se basa en los caracteres morfológicos de los vegetales y en la herencia de las especies. Este sistema es el que se aplica actualmente para la clasificación botánica. Las bases para una clasificación natural la constituye el parentesco natural, es decir, derivación de un ancestro común.

Los **sistemas filogenéticos** que son muy recientes y se basan en que mientras más parecida es la secuencia del material genético de dos organismos, éstos están más emparentados. Estos sistemas en la actualidad han llegado a desplazar de cierta manera a los sistemas de clasificación morfológica por su gran precisión y su reducida tasa de error; en la actualidad la técnica más empleada es la comparación del ARN que codifica la subunidad pequeña de los ribosomas (mencionado como 16S rRNA en la mayor parte de la literatura sobre el tema), puesto que ésta es una de las secuencias más conservadas, y por lo tanto más precisas para este tipo de trabajos.

Las clasificaciones (aproximaciones) más importantes han sido las de: A. Eichler (1883), A. Engler, R. Von Wettstein (1901–1908), el último de los cuales es el primer sistema realmente filogenético. De esto derivan los **sistemas sintéticos**, los cuales actualmente intentan valorar las estirpes naturales apoyándose en la base de datos más amplia posible (citogenética, micro anatomía, fitoquímica, etc.) y reconstruyendo su formación, aunque siempre existe cierto subjetivismo. Tal acumulo de datos, proporcionados por las nuevas técnicas de investigación, son a veces difíciles de manejar si no se recurren a técnicas tales como la Taxonomía Numérica.

A continuación le mostraremos los grupos vegetales más importantes planteados por Engler y Prantl, que se encuentran resumidos por razones prácticas, según Marzocca (1985):

a. Las plantas con diferenciación morfológica y anatómica, llamadas **traqueófitas** o plantas vasculares, que incluyen:
    1. Las **fanerógamas** o plantas con flores, que a su vez comprenden:
        a) Las **angiospermas** (monocotiledóneas y dicotiledóneas).
        b) Las **gimnospermas** (como pinos y abetos).
    2. Los **pteridófitos** (los helechos y otros vegetales que se reproducen por esporas).

b. Las plantas sin diferenciación anatómica o **talofitas**, que incluyen a:
    3. Los **briófitos** (los musgos y hepáticas, vegetales que poseen diferenciación morfológica) y,
    4. Los **talófitos** (plantas que carecen de diferenciación morfológica y comprenden, algas, hongos y líquenes).

Taxón

Se denomina taxón a cada uno de los niveles de clasificación, en plural **taxa.**

Los principios taxonómicos aplicados en la actualidad a las plantas ordenan a éstas en un sistema jerarquizado: la jerarquía taxonómica. Los diferentes niveles de la jerarquía taxonómica se denominan **categorías taxonómicas** (rangos taxonómicos), los grupos de organismos en sí constituyen las unidades taxonómicas o taxa.

Si se consideran grupos taxonómicos en general, independientemente del rango, se utiliza el término taxón (en plural taxa). Un taxón se define como un grupo taxonómico de cualquier categoría o rango, jerarquizados de la siguiente manera:

División
- Clase
  - Subclase
    - Orden
      - Suborden
        - Familia
          - Subfamilia
            - Tribu
              - Género
                - Especie
                  - Subespecie
                    - Variedad
                      - Forma



Fig. 5–2: Las flores son el primer carácter morfológico considerado para la clasificación, puesto que la disposición y estructura de las mismas son particulares para especie.

Las categorías taxonómicas más importantes son: especie, género, familia, clase, división o Phylum y reino, pero el Código Internacional de Nomenclatura Botánica reconoce doce: reino, división, clase, orden, familia, tribu, género, sección, serie, especie, variedad y forma; y este número puede ser doblado designando subcategorías con el prefijo sub–. Excepcionalmente se pueden considerar súper categorías con el prefijo súper– (ejemplo: superorden). Un detalle de las categorías y las terminaciones empleadas para cada caso se muestra en la tabla 5–1.

La **especie** es la categoría taxonómica fundamental (amplia información al respecto se encuentra en el *Capítulo 6*). De manera simple podemos definir la especie como un conjunto de organismos que:

- poseen un importante número de caracteres en común (comparten un patrimonio genético).
- son inter–fértiles (forman poblaciones).
- y que en condiciones naturales no intercambian dichos caracteres con el resto de los organismos (aislamiento reproductivo).

Las especies también poseen caracteres en común que sirven para agruparlas en géneros. Los géneros se pueden agrupar en familias y así sucesivamente. Esta ordenación de grupos dentro de grupos de forma creciente constituye pues un sistema jerárquico o jerarquía de clasificación. Las categorías taxonómicas básicas fueron desarrolladas por Linneo, las cuales estaban basadas en conceptos de relación desarrollados por los griegos, en particular, Aristóteles, su principio de "división lógica" mantenía que cualquier grupo de objetos podría ser dividido en subgrupos basados en un criterio simple denominado *Fundamentum Divisonis*. Linneo aplicó las categorías taxonómicas a todas las plantas conocidas en su época, unas 7700 especies. El éxito del sistema jerárquico radica más en la naturaleza del conocimiento humano, ya que prácticamente todos los productos del hombre y sus asociaciones están estructurados de manera jerárquica.

La jerarquía taxonómica debe reflejar la divergencia filogenética, pero existen dificultades que se oponen a este fin:

- Los fenómenos de convergencia producen semejanzas externas al compartir un modo de vida (caso de las plantas parásitas), o un tipo de reproducción (la polinización en algunas familias, como las familias *Asclepiadaceae* y *Orchidaceae*).
- La constancia hereditaria de los caracteres diferenciales a menudo sólo puede comprobarse en cultivos experimentales.

Tabla 5–1: Terminaciones de las categorías taxonómicas más empleadas. Se incluye un ejemplo para la palmera *Parajubaea torallyi* (Mart.) Burret, en los campos que se aplique.

Categoría	***Nombre en latín***	***Terminación***	***Ejemplo para P. torallyi***
División	*Divisio*	-phyta	Spermatophyta
		-mycota (hongos)	
Subdivisión	*Subdivisio*	-phytina	
Clase	*Classis*	-mae	Angiospermae
		-phyceae (algas)	
		-mycetes (hongos)	
Subclase	*Subclassis*	-ideae	
		-opsidae	
Orden	*Ordo*	-ales	Principales
Familia	*Familia*	-aceae	Arecaceae
		-ae	Palmae
Género	*Genus*	derivado latín/griego	*Parajubaea*
Especie	*Species*	derivado latín/griego	*Parajubaea torallyi (Mart.) Burret*

- Las cesuras morfológicas sólo pueden reconocerse si se dispone de material suficiente.
- Las relaciones filogenéticas reticuladas no se pueden representar en un sistema jerárquico, por ejemplo las que se originan por hibridación.

Tipos de clasificación

En la clasificación se reconocen cuatro tipos de especimenes:

Holotipo: se refiere a un espécimen u otro elemento que fue utilizado o designado por el autor como tipo nomenclatural.

Isotipo: se refiere a los especimenes de la misma colecta, pero que no fueron designados por el autor como holotipos. Es decir, son duplicados del tipo nomenclatural.

Paratipos: se refiere al o los especimenes y materiales citados con la descripción original, pero que son diferentes al Holotipo o al Isotipo, respecto al lugar de colecta o al colector.

Lectotipo: se refiere a cualquier espécimen que puede reemplazar al Holotipo o al Isotipo.

NOMENCLATURA BOTÁNICA

La nomenclatura es la parte de la Botánica (Sistemática) que se dedica a dar nombre a las plantas y grupos de plantas (taxa).

Los primeros nombres que tuvieron las plantas fueron los nombres vernaculares o nombres comunes, pero estos tienen los siguientes inconvenientes:

1. No son universales, sólo son aplicables a una lengua
2. Sólo algunas plantas tienen nombre vernacular
3. A menudo dos o más plantas no relacionadas tienen el mismo nombre o una misma planta tiene diferentes nombres comunes
4. Se aplican indistintamente a géneros, especies o variedades

La nomenclatura biológica trata de evitar estos problemas y establece una serie de reglas llamadas **Códigos de Nomenclatura**:

En la antigüedad (época prelinneana) cada planta era conocida en círculos eruditos por una larga frase descriptiva en latín, el sistema polinomial o polinominal, que crecía a medida que se encontraban nuevas especies semejantes. Así, por ejemplo, la "carlina sin tallo" (*Carlina acaulis* L.) se mencionaba como:
Carlina acule unifloro florae breviore

El primero que sugirió la idea para adoptar sólo dos palabras (sistema binomial / binominal) fue Gaspar Bauhin. Pero no fue hasta la publicación de **Species Plantarum** por Linneo, en 1753 que el sistema binomial fue establecido definitivamente. Linneo describió y nombró por tal sistema todo el mundo vivo conocido hasta la fecha.

El nombre científico o nombre específico de un organismo vivo es una combinación de dos palabras en latín:

- el nombre genérico o género
- el epíteto específico

Así, por ejemplo, la encina es *Quercus rotundifolia* Lam., el pino piñonero es *Pinus pinea* L. El nombre científico siempre se acompaña del apellido abreviado del autor que lo describió por primera vez de forma efectiva o válida. Lam. es abreviación de Lamarck y L. es la abreviación de Linneo. Ningún nombre científico está completo sino se acompaña del nombre del autor o forma abreviada de este.

Los nombres científicos también pueden ir acompañados de **sinónimos**, que son los nombres diferentes que se aplican al mismo taxón, y no hay que confundir con los **homónimos**, que son los nombres iguales que se aplican a taxa diferentes.

Todas las normas que controlan la creación de nombres científicos para las plantas y categorías taxonómicas están contenidas en el ICBN (International Code of Botanical Nomenclature, en español Código Internacional de Nomenclatura Botánica – CINB), además de este existen otros dos más, el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (ICZN) y el Código Internacional de Nomenclatura Bacteriológica (ICNB), aunque esta última está siendo ampliamente discutida por los nuevos avances en el campo de la sistemática molecular.

Los tres códigos poseen una serie de reglas y artículos complementados con una serie de recomendaciones. Respecto a las cuales las únicas sanciones que pueden emplearse contra los investigadores que no las sigan son la desaprobación por sus colegas y la no–consideración de sus trabajos.

Nombres de los taxa

Los nombres científicos de los grupos taxonómicos son tratados como latín o su derivación (principio V). El nombre genérico es un sustantivo en singular o una palabra tratada como él (nombre uninominal). Puede ser el nombre de una persona, latinizado en conmemoración. La latinización de los nombres no clásicos de personas se realiza siguiendo las siguientes reglas:

- Terminación vocal: se añade –a. Por ejemplo: Boutelou (*Bouteloua*), excepto cuando acaba en a, que se añade –ea, Colla (*Collaea*).
- Terminación consonante: se añade –ia. Por ejemplo: Klein (*Kleinia*), Knaut (*Knautia*), Koelpin (*Kolepinia*), Laurent (*Laurentia*), Lagous (*Lagousia*), Lobel (*Lobelia*), Rothmaler (*Rothmaleria*), Wahlenberg (*Wahlenbergia*).

El epíteto específico puede ser:

- Un adjetivo, el caso más general, por ejemplo, *Quercus rotundifolia*, hojas redondeadas.
- Un sustantivo en aposición (o yuxtaposición) con el género, v.g., *Pyrus malus* L., malus = manzana el latín.
- Un nombre en conmemoración a una persona, por ejemplo, *Centaurea boissieri* DC., Boissier.

Si el epíteto implica varias palabras, éstas se combinan en una sola o se ligan por guiones, por ejemplo *Scandix pecten–veneris*, *Veronica anagallis–aquatica*.

Formación de epítetos específicos en latín

El epíteto específico no se puede usar de forma aislada, sino en combinación con el nombre genérico. Un mismo epíteto puede ir junto a diferentes nombres genéricos, pro ejemplo, *Anthemis arvensis*, *Anagallis arvensis*. Cada epíteto debe estar en el mismo género gramatical (singular, plural, neutro) que el nombre genérico. Las terminaciones más frecuentes son:

s	alb–us	nig–er	brev–is	ac–er
p	alb–a	nig–ra	brev–is	ac–ris
n	alb–um	nig–rum	brev–e	ac–re

Existen otras terminaciones que sirven para cualquier nombre genérico: eleg–ans, rep–ens, bicol–or, simple–x. Por ejemplo: *Ranunculus repens*, *Ludwigia repens*, *Trifolium repens*. En los epítetos por aposición el género gramatical del epíteto no tiene por que coincidir con el del nombre genérico.

Tipos de epítetos específicos

A. Epítetos conmemorativos: nombres de personas latinizados:

- Terminación vocal (excepto –a), se añade –i, por ejemplo, Asa Gray (*Lilium grayi*), Joseph Blake (*Aster blakei*).
- Terminación en vocal –a, se añade –e, por ejemplo, balansae (Mr. Balansa), lagascae (Lagasca).
- Terminación en consonante diferente de –er, se añade –ii, por ejemplo, tuttinii (Tuttin). Si es una mujer se añade –iae.
- Terminación en –er, se añade –i, por ejemplo, boissieri (Boissier)
- Si el nombre se usa como un adjetivo la terminación ha de coincidir con el género, por ejemplo, *Rubus cardianu*s (F. Wallace Card), *Chenopodium boscianum* (Augustin Bosc).

B. Epítetos descriptivos:

- Relacionados con el color: albus, aureus, luteus, niger, virens (verde), viridis (verde).
- Relacionados con la orientación: australis, borealis, meridionalis, orientalis.
- Relacionados con la geografía: africanus, alpinus, alpestris (Alpes), hispanicus, ibericus, cordubensis.
- Relacionados con el hábito: arborescens, caespitosus, procumbens.
- Relacionados con el hábitat: arvensis, campestris, lacustris.
- Relacionados con las estaciones: automnalis, vernalis.

- Relacionados con el tamaño: exiguus, minor, major, robustus.

Una cosa que debemos recordar es que los epítetos específicos por si solos no tienen ningún valor ni ningún significado, ya que son una cualidad que se le atribuye a un género. Por ejemplo, si decimos únicamente *biennis* no sabemos a qué especie refiere esta característica, podría ser a *Latuca biennis* o a *Artemisia biennis*, dos plantas muy distintas, incluso de diferentes familias.

Nombres de taxa superiores al rango de género

Consisten en un sólo término y son por tanto uninominales, uninomiales o unitarios. Son sustantivos plurales (o adjetivos usados como sustantivos) que se escriben con mayúscula. El código establece unas terminaciones normalizadas para estos nombres.

Normas para la escritura de los nombres científicos

1. Todas las letras en latín han de ir en itálica (cursiva), subrayadas o en negrita.
2. La primera letra del género o categoría superior ha de ir en mayúscula.
3. El resto del nombre va en minúscula (excepto en algunos casos en que se conserva en mayúscula la primera letra del epíteto específico, aunque se tiende a escribir siempre en minúsculas el epíteto específico).

   Por ejemplo, para la palmera *Parajubaea torallyi*, el género es *Parajubaea* y la especie *Parajubaea torallyi* (Mart.) Burret. La especie a constituyen los dos epítetos y el nombre del o los autores. Cuando, como en el ejemplo anterior, existe un nombre precedente entre paréntesis, seguido del nombre del autor, significa que el autor que se indica entre paréntesis fue el primero en describir y documentar la especie, y el segundo autor fue el que se encargó de corregir la descripción y / o la denominación.

4. Los nombres de híbridos van precedidos del signo x. Por ejemplo: *x Rhaphanobrassica*, *Mentha x piperita*.

Pronunciación de los nombres científicos en latín

Método continental: desarrollado en la Edad Media usado por la Iglesia Católica Romana:

- Los diptongos "ae" y "oe" se leen "e", por ejemplo: laevis, rhoeas.
- La combinación "ch" se lee "k", por ejemplo: *Chenopodium*.
- La combinación "ph" se lee "f", por ejemplo, *Phleum phleoides*.

Acentuación: no hay palabras agudas, la última sílaba nunca se acentúa. Las palabras de dos sílabas son llanas. Las palabras de tres sílabas pueden ser llanas si la penúltima sílaba es larga (si termina en vocal larga, diptongo o consonante) o esdrújulas si la penúltima sílaba es corta.

El Código Internacional De Nomenclatura Botánica (CINB)

El sistema de nomenclatura botánica ha sido estandarizado en un código para que las comunicaciones sobre plantas estén basadas en nombres mundialmente aceptados para cada planta.

De esta manera cada planta tiene un sólo nombre y un sólo nombre es aplicado para una única planta. El nombre científico es el símbolo nominal de la planta o un grupo de plantas, además es una manera de indicar su rango o categoría taxonómica.

El CINB está dividido en tres partes:

1. Principios básicos del sistema de nomenclatura botánica.
2. Reglas para poner en orden la nomenclatura antigua.
3. Recomendaciones para conseguir uniformidad y claridad en la nomenclatura actual.

Principios del CINB

Principio I. La nomenclatura botánica es **independiente** de la nomenclatura zoológica y bacteriológica. El código se aplica por igual a todos los nombres de grupos taxonómicos considerados como plantas, aunque originalmente no se hayan atribuido al reino vegetal.

Principio II. La aplicación de nombres a los grupos taxonómicos (taxa) de categoría de familia o inferior es determinada por medio de los **tipos nomenclaturales**.

Principio III. La nomenclatura de un grupo taxonómico se funda en la **prioridad de publicación**.

Principio IV. Cada grupo taxonómico, de delimitación, posición y rango dados, no puede tener más que **un nombre correcto**, es decir, el más antiguo de conformidad con la reglas, salvo las excepciones especificadas.

Principio V. Los nombres científicos de los grupos taxonómicos se expresan en **latín**, cualquiera que sea su categoría.

Principio VI. Las reglas de nomenclatura tienen **efecto retroactivo**, salvo indicación en contra.

PROCESO DE DETERMINACIÓN TAXONÓMICA

Se inicia en el momento de la recolección del material botánico. Deben seguirse ciertas reglas para posibilitar las condiciones que faciliten el reconocimiento de las vegetales obtenidas.

Se recomienda coleccionar material fresco, principalmente si el espécimen está en la etapa de floración y/o fructificación (material fértil), de esta manera se ven todas las estructuras reproductivas o en caso contrario, es necesario que se registren anotaciones en una libreta o cuaderno de campo sobre datos de la planta y del medio donde se desarrolla.

Estas anotaciones deben contener mínimamente los siguientes datos:

1) Nombre del colector o colectores.
2) Número correlativo de la colección botánica.
3) Datos sobre la familia, género o especie, si se la conoce.
4) Lugar y fecha de recolección.
5) Descripción del lugar: Departamento, provincia, sitio, altitud, coordenadas geográficas, formación de vegetación.
6) Referencias sobre sus características más importantes (ej., anual, bianual, vivaz o perenne). Diferencias morfológicas notables (como las que puedan existir sobre hojas caulinares y basales, jóvenes y adultas). Variaciones tales como la altura y otras medidas de la planta y de sus partes, presencia de pilosidad, espinas, color de los diversos órganos y en general todas aquellas características que pueden perderse o alterarse con el secado (como ser textura, color, aroma, posición, dirección, consistencia, apariencia, sabor).
7) Nombre vernacular de la planta y usos (si se conoce).

Otro punto que se toma en cuenta para la colección de especimenes, es el rápido prensado de los mismos, ya que pueden perder rápidamente algunas de sus estructuras (principalmente flores).

Para ampliar esta información se recomienda ver la *Práctica 6*, del *Capítulo 9*.

LAS CLAVES BOTÁNICAS

Una vez concluida la etapa de la recolección del material se debe proceder a la identificación del mismo, para esto existe una terminología específica, la cual nos permite llegar de forma acertada al nombre científico.

Las dificultades que se presentan a los recién iniciados en la botánica sistemática está en el uso de las claves de identificación, principalmente por la terminología técnica que se debe utilizar, por la falta de estructuras en los especímenes a clasificar o que las estructuras sean muy difíciles de identificar a simple vista.

Para una buena identificación de los organismos debemos realizar la clasificación por medio de las **claves**, las cuales son utilizadas en casi todos los tratamientos botánicos.

La clave es una proposición literaria analítica y artificial en la que se practica una elección entre proposiciones contradictorias o excluyentes, de modo que al aceptarse como buena una de ellas se rechaza automáticamente la otra alternativa. En efecto, puede haber dos tipos de claves: una, la cual es corta y limitada a un par único de proposiciones que se contradicen y otra, en la que las proposiciones son más de dos en cada caso. El primer tipo es la clave dicotómica, la más comúnmente usada (Marzocca 1985).

Estructura de las claves

Las estructuras de las claves dicotómicas son básicamente dos: en **corchete** y en **paralelo.** En las claves en paralelo la disposición tipográfica de las proposiciones van en forma paralela y consecutiva, manteniendo la misma distancia entre cada una de ellas. En las claves de corchete la posición de las proposiciones se altera en relación con cada proposición básica y toma para cada rama nueva una disposición en escalera, los planteamientos comienzan a diferentes distancias del margen, según la letra que los precede.

A continuación mostraremos un ejemplo de cada tipo de claves mencionada (Marzocca 1985):

a) Clave dicotómica en corchete:

Clave de las especies del género *Triticum* (trigo)

A– Espiguilla terminal abortada, apenas visible.....................................1.*T. monococcum L.*
AA- Espiguilla terminal desarrollada.

B– Glumas más cortas que las glumelas

C– Raquis articulado a la madurez (frágil); grano totalmente envuelto por las glumelas.

D– Espigas ralas, más o menos cuadrangulares..............................2. *T. spelta L.*
DD– Espigas muy densas comprimidas lateralmente.............................3.*T.dicoccum Sharank*
CC– Raquis no articulado a la madurez, Grano desnudo en la parte superior.

D– Glumas aquilladas sólo en la parte superior.

E– Espigas largas, más o menos ralas...........................4. *T. vulgare Host.*
EE– Espigas cortas, densas.5.*T. compactum Host*
DD– Glumas fuertemente Aquilladas hasta la base.

E– Grano corto, grueso, no Comprimido ....6. *T. turgidum L.*
EE– Grano oblongo, estrecho, generalmente comprimido a los lados....................7. *T. durum Desf.*
BB– Glumas iguales o mayores que las glumelas.......................................8. *T. polonicum L.*

b) Clave dicotómica en paralelo:

Clave de los *Triticum*

1– Espiguilla terminal abortada ....*T. monococcum*
1– Espiguilla terminal desarrollada... 2
2– Glumas más cortas que las glumelas.............................. 3
2– Glumas mayores o menores que las glumelas. ....*T. polonicum*
3– Raquis articulado.. 4
3– Raquis no articulado.. 5
4– Espigas ralas..*T. espelta*
4– Espigas muy densas..*T. dicoccum*
5– Glumas aquilladas apicalmente.. 6
5– Glumas aquilladas totalmente... 7
6– Espigas largas y ralas ....*T. vulgare*
6– Espigas cortas y densas............................. *T. compactum*
7– Grano corto y grueso... *T. turgidum*
7– Grano oblongo y estrecho... *T. durum*

Para poder confeccionar de forma correcta las claves dicotómicas se deben de seguir algunas reglas:

a) Tratar que la clave sea estrictamente dicotómica.
b) Los caracteres seleccionados deben oponerse a las proposiciones paralelas.
c) Las frases deben ser afirmativas, tanto como sea posible, especialmente la primera proposición.
d) Usar caracteres morfológicos **macroscópicos** tanto como sea posible en la separación de grupos (familia, género, especie y otros).
e) En las claves de las plantas **dioicas** es conveniente hacer dos claves por separado; una clave para la planta masculina y otra clave para la planta femenina.
f) Tener en cuenta estadios juveniles y adulto.

LA EVOLUCIÓN Y SU RELACIÓN CON LA TAXONOMÍA

La botánica sistemática, en sentido estricto, se encarga de la clasificación e identificación de los vegetales. Para poder establecer esta clasificación es necesario conocer el desarrollo evolutivo de los vegetales, su ascendencia y su distribución geográfica en épocas anteriores y en la actualidad.

En la actualidad, los botánicos sistemáticos han incorporado sistemas de clasificación de las plantas basándose en relaciones de parentesco, mas que en sus propiedades, sean estas medicinales o de otro orden. Mientras que en el pasado, sólo consideraciones en el orden morfológico permitían imaginar un relación natural entre especies de las distintas familias y suponerlas emparentadas por características similares en flores, inflorescencias,



Fig. 5–3: Las flores de la solanácea *Lycianthes lycioides* son muy parecidas a las de *Solanum tuberosum* (papa). Por esta razón se dice que son dos especies cercanamente emparentadas.

hojas, y otros (Fig. 5–3). Ahora la relación de parentesco de las especies se determina por las conexiones genéticas entre ellos y sus antecesores comunes.

Hay una creencia muy extendida: la evolución ha sido totalmente probada; entretanto la gran mayoría de las religiones la niegan. Esto atrajo una gran atención, después de la publicación del libro de Darwin, *El origen de las especies* (1859). La controversia resultante produjo un buen ejemplo de la clase de conflictos que pueden aparecer entre la religión y la ciencia (de acuerdo con Marzocca 1985). La idea básica de la evolución tiene sus orígenes en los griegos, quienes ya vertieron teorías sobre el origen de la vida, también hubo clérigos y, en particular teólogos en la Edad Media, que debatieron mucho sobre esto el tema.

Las experiencias de los dos últimos siglos permitieron poner en claro la teoría presente de la evolución. En líneas muy generales, esta teoría dice que las formas simples de vida aparecieron primero, gracias a la condensación del agua al enfriarse con la tierra. A medida que pasaba el tiempo geológico, estas formas elementales fueron adoptando formas más complejas y especializadas, hasta llegar a constituir toda la inmensa variedad de vida que nos rodea (Para mayor información, ver *Capítulo 6*).

Pero cuando se trata de contestar cómo se ha llegado a este proceso, se presentan grandes problemas que no se han resuelto todavía, en particular los concernientes al origen de la vida y de las especies. Sin embargo, la genética moderna, ha descubierto un mecanismo plausible de la evolución y, aunque quedan algunas dificultades por resolver, se ha logrado un gran avance en comparación con la primera tentativa de Darwin para resolver el problema, desde que éste no supo explicar sus detalles. Por ejemplo, el que las leves variaciones que favorecieron a algunos individuos en la lucha por la vida se produjeron sólo en algunos individuos y no en todos los de un mismo lugar, ni cómo ellas pudieron heredarse en sus descendientes (Marzocca 1985).

Como evidencias de la evolución tenemos muchas, pero trataremos de citar las principales:

- Registros palinológicos (granos de polen).
- Fósiles o paleontología (paleobotánica).
- Morfología y anatomía comparada.
- Continuidad específica.
- Desarrollo embriológico.
- Estructuras vestigiales.
- Distribución geográfica de las plantas y animales.

Sistemática filogenética

Los millones de individuos que habitan en el planeta son considerados como el producto de la evolución. Si la primera forma de vida se originó de uno o varios puntos del planeta o si tanto animales como vegetales dependen en último término en un antecesor común, son interrogantes que no pueden contestarse con total seguridad.

Cada uno de los especímenes que habita el planeta presenta una gran complejidad estructural, la cual es bastante lejana a la que pudo ser su más remoto antecesor y aún resulta dudoso si ese antecesor fuera una célula bien organizada.

Está aceptado que en el reino vegetal la capacidad de producción de clorofila surgiera millones de años

antes de la aparición de una adaptación estructural a la vida terrestre; que de la alternancia de generaciones, de las briofitas y pteridofitas se pasó por último al carácter especializado reproductivo de gimnospermas, monocotiledóneas y dicotiledóneas, angiospermas, conclúyase que se necesitó parte del Precámbrico y todo el Paleozoico (ver Cuadro 2–1) hasta que el desarrollo orgánico fuera un proceso verdaderamente acelerado.

Es conveniente hacer notar que, de acuerdo con los científicos modernos, los principios morfológicos de la sistemática son los siguientes (Marzocca 1985):

a) Los organismos pluricelulares se derivan de los unicelulares.
b) Los seres con órganos diferentes se derivan de los que carecen de diferenciación.
c) Los seres con tejidos diferenciados se derivan de los que no tiene un verdadero tejido.
d) La heterogamia se deriva de la isogamia.
e) Los órganos con gametos sin cilios se derivan de los que tienen gametos ciliados.
f) Los vasos punteados se derivan de los escaleriformes.
g) La evolución puede ser progresiva, regresiva o indiferente.
h) La evolución puede afectar un órgano o varios y puede ser en unos progresiva y en otros regresiva.
i) Las plantas alótrofas derivan de las verdes.
j) Las hojas compuestas derivan de las simples.
k) Las plantas anuales derivan de las perennes.
l) Las plantas de hojas caducifolias se derivan de las de hojas siempreverdes.
m) En la evolución de las flores:
    1) La estructura cíclica deriva de la espiralada.
    2) Los ciclos de pocas piezas se derivan de los que tienen muchas.
    3) El perianto diferenciado deriva del no diferenciado.
    4) Las flores apétalas derivan de las que tiene pétalos.
    5) Las flores gamopétalas derivan de las dialipétalas.
    6) Las flores cigomorfas derivan de las actinomorfas.
    7) Las flores de gineceo ínfero derivan del gineceo súpero.
    8) Las flores de pocos carpelos derivan de los que tiene muchos.
    9) Los óvulos anátropos y campilótropos derivan de los ortótropos.
    10) Los óvulos cubiertos derivan de los desnudos.
    11) Las inflorescencias múltiples derivan de las simples o formas aisladas.
    12) Los frutos 1–ovulados se derivan de los multiovulados.

IMPORTANCIA DE LA BOTÁNICA SISTEMÁTICA

La importancia de la Botánica Sistemática radica principalmente en los siguientes puntos:

a) Lograr una clasificación ordenada de la riqueza vegetal del planeta.
b) El establecimiento de una terminología capaz de ser interpretada por todos los pueblos (lenguaje universal).
c) Aplicación ventajosa de las leyes de la evolución.
d) Ayudar a la identificación de las plantas útiles tanto como de las perjudiciales.

Otro punto importante de la taxonomía y la botánica sistemática son los productos que ésta presenta, como ser la conformación de herbarios o colecciones botánicas; publicaciones de tratamientos taxonómicos o monografías, entre otros.

COLECCIONES EN HERBARIOS

Se define a un herbario como una colección de ejemplares vegetales "secos" ordenados de acuerdo a un conocido sistema taxonómico, destinado a estudios científicos y comparativos de identificación sistemática. "Secos" significa que se conservan así mediante técnicas adecuadas prensado y secado (Fig. 5–4).

Importancia de los herbarios

Los herbarios son un instrumento fundamental para asegurar la identificación de las especies vegetales y el empleo ventajoso de los sistemas de clasificación; además de constituir un muestrario representativo de las características morfológicas, la distribución geográfica y la historia filogenética vegetal de un



Fig. 5–4: Los ejemplares vegetales colectados, herbarizados y clasificados se conservan en pliegos como los de la fotografía, con el fin de mantenerlos en buen estado y organizarlos en colecciones.

determinado país, región o de todo el mundo. Por lo tanto, su presencia es importante y sujeta procedimientos tradicionales estrictos de conservación, libros de condiciones que determinan su estado.

El herbario ayuda a evitar las confusiones ocasionadas por la variabilidad de las poblaciones naturales.

El archivo de las plantas que son descritas no sólo tiene importancia para el botánico sistemático, sino también para ciencias como ser la etnobotánica, la morfología vegetal, la botánica económica, la genética y otras ciencias como ser: geología, zoología y ecología.

Otras de las razones importantes para la existencia de herbarios son las siguientes:

1) Para poder conocer exactamente las especies, descubrirlas y enunciar sus características.
2) Para rectificar posibles errores cometidos al describir las especies, o para subsanar deficiencias en las descripciones.
3) Para que sea posible comparar entre sí ejemplares de una misma especie crecida en distintas condiciones, o para establecer el parámetro de especies diferentes.
4) Para conocer la distribución geográfica de cada especie.
5) Para conocer la riqueza florística de un país y por extensión, la de todo el mundo.
6) Una buena colección de plantas, cuyas exigencias se conozcan, permitirá deducir las condiciones ecológicas y posibilidades económicas del lugar procedente.
7) Para facilitar el reconocimiento de la flora de un lugar.
8) Una colección botánica puede tener valor histórico.

Cada ejemplar del herbario debe llevar una etiqueta o tarjeta de identificación, la cual debe llevar los siguientes datos:

a) El nombre científico de la planta.
b) Su nombre vernacular o vulgar.
c) Número de ejemplar.
d) El país, provincia o estado y las coordenadas geográficas.
e) Localidad.
f) Nombre de quien obtuvo los especimenes (colector o colectores).
g) Fecha de colección.
h) Nombre de quien procedió a su identificación botánica.
i) Observaciones varias (color de las flores, planta cultivada o silvestre, altura, diámetro del tronco, tipo de corteza, aroma u otras referencias importantes).

También se pueden anotar datos como: tipo de suelo, drenaje, altura de la localidad de colección, piso vegetacional en que crece la planta, orientación o exposición cardinal del terreno y otro

CUESTIONARIO

1) Explique cuál es la relación que existe entre la taxonomía y la nomenclatura.
2) Establezca las diferencias entre clasificar e identificar.
3) Nombre los principales sistemas de clasificación, e indique cuál o cuáles son los que se emplean actualmente.
4) Elabore un cuadro sinóptico que resuma la historia de la sistemática y la taxonomía.
5) Ordene jerárquicamente seis niveles taxonómicos del Reino Plantae.
6) Mencione por lo menos diez criterios útiles para la diferenciación entre plantas vasculares.
7) ¿Cuales son los principales objetivos de la botánica sistemática?.
8) Elabore una pequeña clave dicotómica para separar plantas no vasculares de vasculares, y dentro de las vasculares para separar a las gimnospermas de las angiospermas (en el Capítulo 7 encontrará información útil para las características diferenciales).
9) ¿Cuál es la relación de la evolución y la taxonomía?.
10) Mencione cinco ventajas de contar con una colección botánica (herbario).

REFERENCIAS

- Forno, E. & M. Baudoin (Eds.). 1991. Historia Natural de un Valle en los Andes: La Paz. Instituto de Ecología–UMSA. La Paz, pp 181–184, 190 – 192.
- Killen, T., E. García & S. Beck.. 1991. Guía de árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia–Missouri Botanical Garden, La Paz, pp 24–40.
- Marzocca, A.. 1985. Nociones básicas de Taxonomía Vegetal. Editorial ICAA, San José, pp. 7 – 12, 49, 50, 54, 60–62, 216, 221, 233 – 250.
- Scagel R., R. Bandoni, G. Rouse, W. Schofield, J. Stein & T. Taylor. 1977. El Reino vegetal: los grupos de plantas y sus relaciones evolutivas. Ediciones Omega, Barcelona, pp 11 –14

LECTURAS COMPLEMENTARIAS RECOMENDADAS

- Fontúrbel, F. 2001. La familia Nymphaeaceae (ninfeáceas). Revista de Biología.org, 5, Madrid, http://www.biologia.org.
- García, E. & N. Salinas. 1997. Manual ilustrado de las especies vegetales frecuentes en la zona de Choquetanga. Editorial Instituto de Ecología–UMSA, La Paz.
- Killen, T., E. García & S. Beck.. 1991. Guía de árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia–Missouri Botanical Garden, La Paz.
- Marzocca, A.. 1985. Nociones básicas de Taxonomía Vegetal. Editorial ICAA, San José.
- Pestalozzi, H.U. & M.A. Torrez. 1998. Flora ilustrada altoandina. Herbario Nacional de Bolivia – Herbario Forestal Nacional "Martín Cárdenas", Cochabamba, 245p.
- Woese, C., O. Klander & M. Wheelis. 1990. Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria and Eucarya. Prop. Natl. Acad. Sci, 87: 4576–4579.

PÁGINAS EN INTERNET

- ✓ Herbario Nacional de Bolivia: http://mywebpage.netscape.com/inseco/herbario.htm
- ✓ Missouri Botanical Garden: http://www.mobot.org

Para información actualizada, nuevos enlaces y material didáctico adicional visitar:

http://www.mbotanica.8m.com

CAPÍTULO 6

GENÉTICA Y EVOLUCIÓN

Todos los organismos vivos son el producto de cambios y modificaciones constantes durante millones de años los seres vivos actuales han evolucionado a partir de ancestros comunes y se han ido adaptando a un medio cambiante, de forma dinámica. El fruto de esta constante lucha para sobrevivir y readaptarse es la gran biodiversidad que se conoce actualmente.

La capacidad de **evolucionar** es exclusiva de los seres vivos, y se debe a la versatilidad del material genético. Todos los procesos de codificación de la información en ácidos nucleicos y su expresión como caracteres definidos y propios de cada especie son estudiados por la **genética**, la cual se enfoca en la herencia y la variación en los organismos. En este capítulo se pretende dar una visión general de la genética y la evolución de las plantas.

ADN Y ARN: CROMOSOMAS

El ADN (ácido desoxirribonucleico) es una molécula capaz de auto replicarse y contiene toda la información vital del individuo, mientras que el ARN (ácido ribonucleico) es el responsable del paso de esta información codificada a proteínas funcionales.

Tanto el ADN como el ARN se denominan genéricamente **ácidos nucleicos**, por sus características químicas (pH ácido) y por ser las principales biomoléculas del núcleo.

Los ácidos nucleicos se componen de secuencias de pares de **bases nitrogenadas**, las cuales son complementarias con las de la segunda cadena (forman una doble hélice) y se encuentran apiladas una sobre otra, formando largas hebras, que en eucariotas forman una doble hélice lineal, mientras que en los procariotas esta doble hélice es circular.

Las hebras del ADN presentan un número prácticamente infinito de posibles combinaciones de secuencia, por ejemplo, tomemos en cuenta una cadena de 100 pares de bases, con 4 bases nitrogenadas diferentes, existen alrededor de 3921225 posibles combinaciones. Ahora bien, pensemos en este ejemplo considerando que el ADN de los eucariotas tiene de miles a millones de pares de bases nitrogenadas... la cantidad de combinaciones posibles es incalculable. Por ejemplo, un virus tiene 5100 pares de bases, una bacteria tiene 4000000 de pares de bases y un ser humano tiene 2900000000 pares de bases (*fide* Kornberg & Baker 1992).

Los ácidos nucleicos se componen de bases nitrogenadas de dos tipos principales: las purinas y las pirimidinas (Fig. 6–1). Las purinas que se encuentran en el ADN y el ARN son la adenina y la guanina, y las pirimidinas complementarias son la citosina y la timina (la timina es característica del ADN, el ARN presenta uracilo en lugar de timina). Los pares de bases siempre se forman entre purinas y pirimidinas, y el enlace se hace mediante puentes de hidrógeno. La adenina es complementaria con la timina (con el uracilo, para el caso del ARN) y la citosina con la guanina (Stryer 1995).

El "esqueleto" de los ácidos nucleicos está formado por unidades denominadas **nucleótidos**, los cuales son la unión de una base nitrogenada con un azúcar (ribosa en el caso del ARN, y desoxirribosa en el

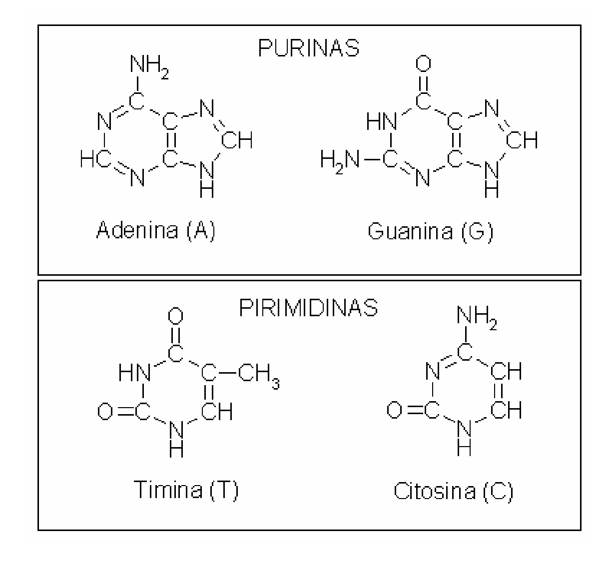


Fig. 6–1: Las bases nitrogenadas que componen el ADN. En la parte de arriba se muestran las purinas (Adenina y Guanina), y en la parte de abajo las pirimidinas (Timina y Citosina).

caso del ADN) y un grupo fosfato. Si se presenta la base nitrogenada y el azúcar, pero no el grupo fosfato, entonces hablamos de un nucleósido. Los nucleótidos, además de ser la base estructural de los ácidos nucleicos cumplen otras funciones, como por ejemplo el ATP (nucleótido trifosfato de adenina) que es la moneda energética de la célula (se da una amplia explicación sobre el ATP en el *Capítulo 4*) o son los segundos mensajeros que intervienen en el metabolismo, los cuales son moléculas que se encargan de transportar señales a través de la célula (*sensu* Stryer 1995).

Las cadenas de pares de bases se forman mediante enlaces entre el grupo fosfato de un nucleótido y el azúcar del próximo nucleótido. La estructura molecular del ADN y el ARN se estabiliza por la afinidad de los fosfatos y azúcares al agua y el carácter hidrofóbico de las bases nitrogenadas, que por esta razón permanecen en el centro. Además la molécula se estabiliza por el apilamiento de los nucleótidos y con la ayuda de proteínas específicas denominadas histonas (Stryer 1995).

Las cadenas de ADN se unen en pares que forman una **doble hélice** (Fig. 6–2) característica. Este modelo fue descrito por primera vez en 1953 por Watson y Crick. La contribución de estos dos investigadores fue fundamental para el desarrollo de la genética molecular y la biotecnología. La genética molecular es aquella que se encarga del estudio de cómo está formado y cómo es que se expresa el material genético, y la biotecnología es el uso de organismos vivos para llevar a cabo procesos químicos definidos, para fines de aplicación industrial (Madigan et al. 1998).

El ADN es una molécula capaz de **replicarse**. La replicación del ADN es un proceso por el cual se duplica el material genético, dando lugar a dos copias idénticas del mismo. Esta replicación es **semiconservativa** (ver Fig. 6–3), esto significa que parte de la molécula original permanece en las moléculas hijas. La replicación del ADN es un proceso complejo, y muy importante para asegurar la herencia de las características de la especie a la descendencia. En la replicación intervienen varias enzimas que se encargan de separar las hebras de la molécula original y de ir agregando los nucleótidos complementarios a las hebras previamente separadas. La enzima helicasa es la encargada de separar las hebras, y los nucleótidos se añaden por medio de polimerasas.

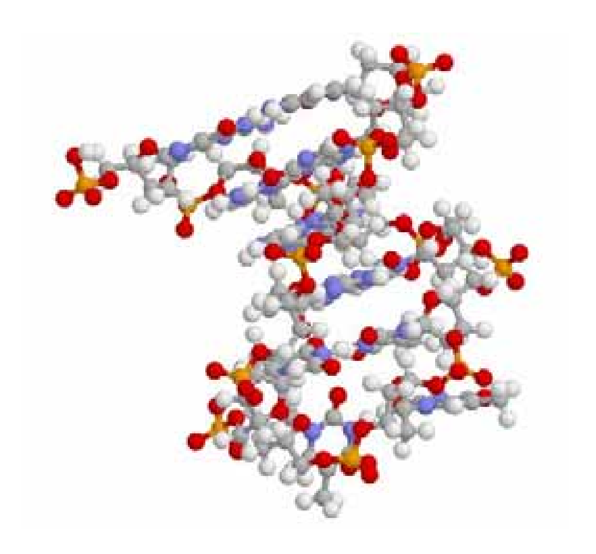


Fig. 6–2: Modelo computarizado de un fragmento de la doble hélice del ADN (dibujado a partir de dna.pdb).

Cromosomas y genes

Los cromosomas son los portadores de la información genética en los eucariotas, y el número en que se presentan varía de acuerdo a la especie. En procariotas se tiene un solo cromosoma, al que con más propiedad se denomina **genóforo**. El término *cromosoma* viene del latín "cuerpo coloreado", se le puso este nombre a pesar se ser estructuras incoloras, porque al aplicar una tinción adquieren diferentes colores y presentan ciertas bandas coloreadas, de gran importancia para la investigación en genes. Los cromosomas están compuestos de un 60% de proteínas, un 25% de ADN y un 5% de ARN (Villee et al. 1992).

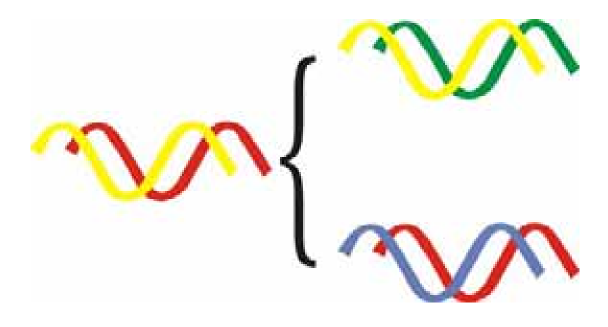


Fig. 6–3: Esquema que representa la replicación semiconservativa del ADN. Nótese que una de las hélices parentales va a formar parte de cada una de las cadenas de doble hélice hijas.

Un **gen** es la unidad fundamental de la herencia, el cual por lo general codifica una proteína. Estas unidades de herencia están formadas por ADN y se encuentran en los **cromosomas**. Puede haber varios genes en un mismo cromosoma, esta cifra puede ser de varios cientos a varios miles, dependiendo del organismo del que se esté hablando. Cada gen es una porción de ADN que puede ser copiada a ARN para la producción de una determinada proteína.

En la fase no reproductiva del ciclo celular los cromosomas están en un estado "relajado" (en este estado existe poca condensación del ADN) y son poco visibles, mientras que durante la división celular se condensan en estructuras mucho más visibles. Los cromosomas se componen de dos cromátidas o brazos de longitud de variable, ambas unidas por un complejo de proteínas denominado centrómero (Fig. 6–4) (Villee et al. 1992).

La mayoría de los organismos vivos tienen en sus células el material genético en dos copias, y por ello se denominan **diploides,** lo cual se simboliza con **2n**. En la etapa de reproducción se forman gametos que tiene la mitad de la carga genética de los individuos, y por lo tanto son **haploides** (**n**). Estos casos son los más comunes en la naturaleza, pero como veremos más adelante pueden producirse individuos **tetraploides** (4n) y en algunos casos excepcionales como el trigo (*Triticum aestivum*) en cultivo, donde la planta es **hexaploide** (6n) (Villee et al. 1992) por la selección artificial.

Flujo de la información: Transcripción y Traducción

El paso de la información contenida en el ADN a proteínas funcionales es fundamental para la vida. Esta expresión se da por medio de dos procesos: la transcripción y la traducción.

Inicialmente se da el proceso de **transcripción**, el cual sucede dentro del núcleo. En este proceso se pasa la información del ADN al ARN mensajero (ARN_m) por medio de un conjunto complejo de enzimas. Esta transcripción se da por medio de las bases complementarias, es decir, las purinas del ADN se unen con las pirimidinas complementarias del ARN_m y las pirimidinas del ADN con las purinas del ARN_m. La información transcrita al ARN_m es complementaria a la del ADN y se denomina **anticodón**. Un codón es una cierta secuencia de bases nitrogenadas, por ejemplo AACGGTCA, y el anticodón es la secuencia complementaria, para este ejemplo TTGCCAGT.

Para el proceso de transcripción es necesaria la presencia de varias enzimas que se encargan de abrir sitios en el ADN para que empiece la replicación y también hay enzimas polimerasas que se encargan de añadir los nucleótidos complementarios, para así formar el ARN_m.

Una vez que el ARN_m contiene la secuencia apropiada de bases, sale fuera del núcleo y será la fuente de información para la síntesis de proteínas. La **síntesis de proteínas** se da en el citoplasma celular y en éste proceso son fundamentales los **ribosomas**. Los ribosomas, en conjunto con el ARN de transmisión (ARN_t) se encargan de sintetizar las proteínas en un proceso de secuencia finita (Villee et al. 1992).

En el proceso de traducción se ve cómo actúa el **código genético**. El código genético es prácticamente universal y se basa en secuencias de tres bases nitrogenadas, cada una de las cuales se traduce en un aminoácido. En los ribosomas, cada tres bases nitrogenadas que pasan se añade un aminoácido a la proteína en formación, y la información de cuál es el aminoácido que corresponde está determinada por la combinación de las bases nitrogenadas.

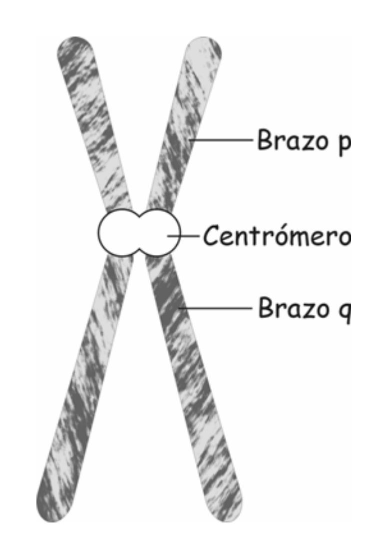


Fig. 6–4: Esquema de un cromosoma representativo. Se observan los brazos largos (brazos q) y los brazos cortos (brazos p), unidos al centrómetro.

La síntesis de proteínas presenta tres fases: la primera o fase de iniciación es aquella donde se empieza la traducción, luego viene una fase de elongación, en la cual se añaden los aminoácidos necesarios, y una vez que la proteína ya posee los aminoácidos necesarios, viene la fase de terminación, donde se detiene la síntesis (Villee et al 1992). Un resumen de este proceso se puede ver en la Fig. 6–5.

GENÉTICA Y PROPORCIONES MENDELIANAS

Gregor Mendel (1822–1884) fue el primero en hacer experimentos con un enfoque científico diferente a los que se habían realizado anteriormente, él trabajó con híbridos durante varias generaciones, y en base a sus observaciones enunció las leyes básicas de la genética clásica, conocidas hoy en día como **leyes de Mendel** (Villee et al. 1992).

Mendel trabajó con plantas de arveja (*Pisum sativum*), en las que hizo cruces de razas puras e híbridos, trabajó con una y más de una característica fenotípica y realizó un análisis estadístico de las **proporciones** en las que se daban los sucesos (Campbell et al. 1994).

Primera ley de Mendel

La primera ley de Mendel se basa en las observaciones realizadas con individuos híbridos para una sola característica (denominados **monohíbridos**). La generación parental con la que trabajó Mendel, se componía de plantas altas y plantas enanas, luego del cruce, vio que todas las plantas de la generación F_1 (de filial 1) eran plantas altas. Un cruce de éstos híbridos entre sí dio un 75% de plantas altas y un 25% de plantas enanas (Campbell et al. 1994).

En base a estos resultados, se establece la relación de **dominancia** y **recesividad**. Una característica dominante es la que se manifiesta siempre que esté presente, aunque sea en un solo alelo (el gen o conjunto de genes que determinan una característica), en cambio las características recesivas sólo se expresan si ambos alelos son recesivos (Fig. 6–6).

Volviendo al ejemplo de las plantas, tenemos una planta alta cuyo alelo dominante lo simbolizamos

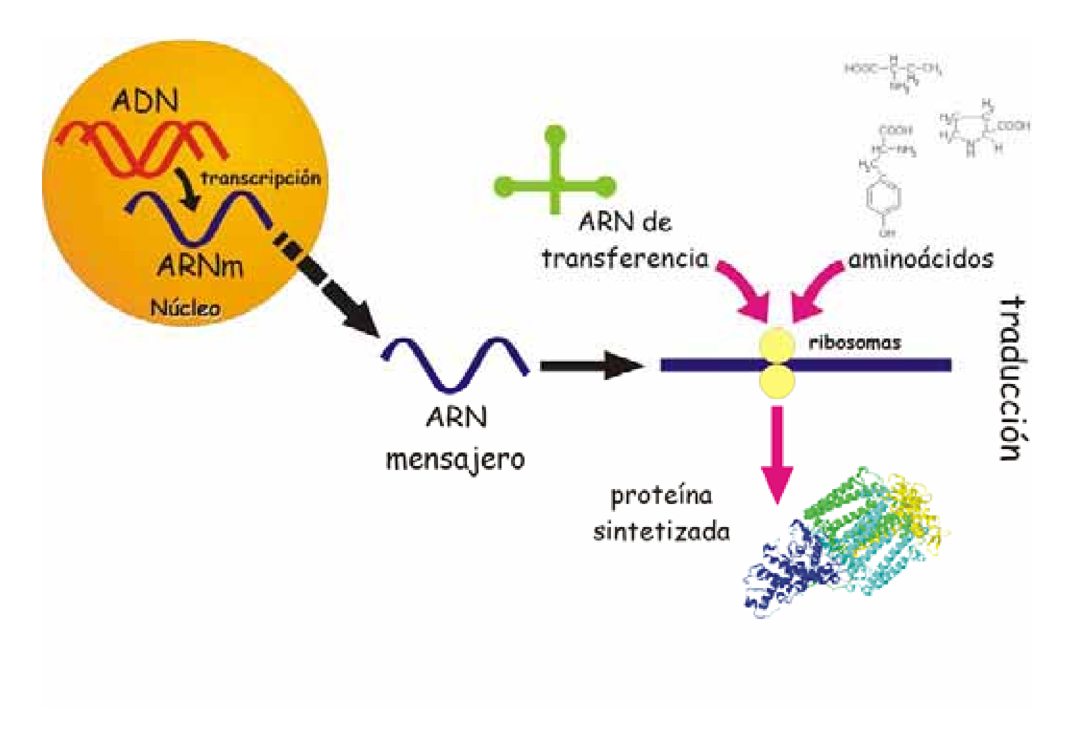


Fig. 6–5: Esquema resumen del proceso de biosíntesis de proteínas. La fase de transcripción se da dentro del núcleo, donde la información del ADN para al ARN de transferencia, éste sale del núcleo para iniciar el proceso de traducción, el que intervienen los ribosomas, moléculas de ARN de transferencia y aminoácidos, para dar lugar a las proteínas.

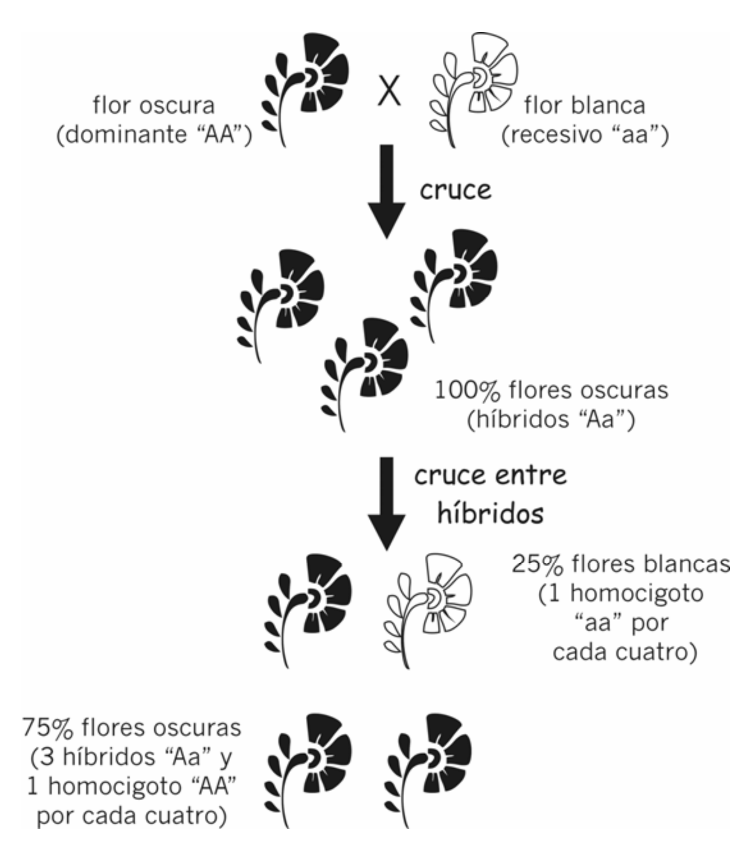


Fig. 6–6: La primera ley de Mendel trabaja con individuos híbridos para una sola característica. En este esquema observamos un ejemplo de la relación de dominancia y recesividad para una sola característica.

con T (los alelos dominantes por convención se representan con mayúsculas, y los recesivos con minúsculas), y el alelo recesivo de plantas enanas lo simbolizaremos con t. Al hacer el cruce de un individuo AA (recordemos que la mayoría de los individuos son diploides) con el individuo aa, toda la descendencia es del tipo Aa, puesto que el primer individuo sólo puede dar gametos A y el segundo gametos a (véase División Celular: Meiosis en el *Capítulo 7*). El cruce de los individuos de F_1, que son genéticamente Aa nos dan tres tipos de individuos: AA, Aa y aa en proporciones de ¼, ½ y ¼ respectivamente, puesto que ambos organismos pueden producir gametos de tipo A y de tipo a. Para entender mejor el cómo obtenemos esta proporción

Cuadro 6–1: Tabla de Punnett para un cruce monohíbrido, donde A es dominante sobre a.

Cruce	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

de descendientes, resulta muy práctico elaborar una tabla de Punnett, como se observa el cuadro 6–1.

Este tipo de tablas son de mucha utilidad para calcular los genotipos que se producen en cruces con varios alelos.

El **genotipo** de un organismo, es la composición genética del organismo, ya sea que ésta se exprese o no, mientras que el **fenotipo** es la parte que se expresa en las características externas (Fig. 6–7).

En el caso del cruce monohíbrido, las proporciones genotípicas obtenidas son 1:2:1, es decir, un individuo AA, dos Aa y uno aa por cada cuatro descendientes. Las proporciones fenotípicas son de 3:1, puesto que tanto el individuo AA como los individuos Aa se manifiestan como plantas altas.



Fig. 6–7: Todas las plantas de la fotografía tienen ADN como material genético. Son las diferencias en el genoma de éstas, la que se expresa en el fenotipo haciendo que cada especie tenga características propias. Es la expresión del material genético o fenotipo lo que hace que podamos reconocer una cactácea de una gramínea por sus características externas.

Segunda ley de Mendel

La segunda ley de Mendel o ley de la **segregación independiente**, emplea individuos dihíbridos. Al igual que el caso anterior, la primera generación presenta individuos de caracteres dominantes en un 100%, y el segundo cruce da cuatro fenotipos diferentes en proporción 9:3:3:1. Esto se debe a que ambas características se combinan por la producción de diferentes gametos (Campbell et al. 1994).

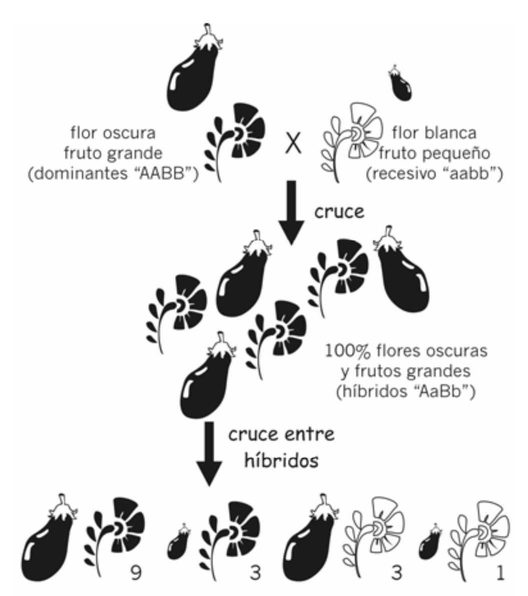


Fig. 6–8: La segunda ley de Mendel trabaja con individuos híbridos para dos características. En este esquema observamos un ejemplo de la relación de dominancia y recesividad y las proporciones que se obtienen cuando se trabaja con dos características. En los casos de la segunda generación donde se manifiesta el carácter dominante, el símbolo "_" significa que el alelo acompañante puede ser el recesivo o el dominante, pues al tener estar acompañado por el dominante siempre se expresará este último.

El ejemplo clásico para este caso son las semillas amarillas y lisas (ambos caracteres dominantes) y las semillas verdes rugosas (caracteres recesivos). Se cruzan ambas plantas y toda la generación F_1 presenta semillas amarillas lisas. Ya en la generación F_2, se observan 9 individuos con semillas amarillas lisas, 3 con semillas amarillas rugosas, 3 con semillas verdes lisas y 1 con semillas verdes rugosas (Fig. 6–8).

Pasando el ejemplo a símbolos, tenemos que los parentales son del tipo AALL (amarillo liso, caracteres dominantes) y aall (verde rugoso, caracteres recesivos). Todos los individuos de la generación F_1 son del tipo AaLl, los cuales se manifiestan con semillas amarillas y lisas. El cruce estos individuos es mejor verlo en una tabla de Punnett (Cuadro 6–2).

Proporciones y cálculos

Las proporciones mendelianas son derivadas de la proporción 3:1 del cruce monohíbrido, la proporción 9:3:3:1 del cruce dihíbrido, resulta de multiplicar la proporción 3:1 de la primera característica con la proporción 3:1 de la segunda característica. Así, de esta manera se pueden calcular las proporciones según el número de características:

Una característica da 3:1
Dos características dan 9:3:3:1
Tres características dan 27:9:9:9:3:3:3:1
y así sucesivamente.

Lo importante al momento de hacer las tablas de Punnett y calcular las proporciones, es calcular el número de gametos diferentes, el cual se calcula mediante la relación 2^x, donde x es el número de características. Las posibles combinaciones se calculan por medio de $(2^x)^2$.

De esta ley se puede concluir que los genes se segregan independientemente, siempre y cuando estén en genes diferentes.

Casos especiales: variación de las proporciones mendelianas

Existen varios casos especiales en los cuales existe una variación de las proporciones mendelianas. Los casos más conocidos son la dominancia incompleta, la codominancia, la superdominancia y el ligamiento de genes.

Cuando hacemos un cruce y obtenemos un fenotipo intermedio de los fenotipos de los padres, estamos hablando de una **dominancia incompleta**. Por ejemplo, si cruzamos plantas con flores rojas y blancas y obtenemos plantas con flores rosadas, tenemos un caso de dominancia incompleta, en el cual ambos caracteres se expresan parcialmente. Si el fenotipo obtenido está justo al medio de los fenotipos de los padres, tenemos entonces un caso de **codominancia**, es decir que ambos alelos se expresan por igual. Este caso nos da una proporción fenotípica 1:2:1 en lugar de 3:1.

Si mas bien, al realizar el cruce de las plantas con flores azules y blancas, obtenemos plantas con flores de color azul marino, hablamos de un caso de **superdominancia**. La superdominancia es cuando el híbrido expresa de manera extrema uno de los

Cuadro 6–2: Tabla de Punnett para un cruce dihíbrido, donde A es dominante sobre a, y B sobre b, siendo ambos caracteres independientes.

Cruce	**AB**	**Ab**	**aB**	**ab**
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AAbB	AAbb	AabB	Aabb
aB	aABB	aABb	aaBB	aaBb
ab	aAbB	aAbb	aabB	aabb

fenotipos de los padres. La proporción en este caso también es de 1:2:1.

El ligamiento de genes se observa cuando dos características tienen a manifestarse juntas y la descendencia no manifiesta las proporciones mendelianas. Esto se debe a que existen ciertos caracteres ligados que tienen a expresarse juntos. Se dice que existe un ligamiento de genes cuando dos parejas de los mismos residen en un mismo cromosoma (Griffiths et al. 1998).

MUTACIONES

Una mutación es cualquier cambio en la secuencia de bases nitrogenadas del ADN (Fig. 6–9). Como ya vimos, la expresión de la información genética en forma de proteínas está determinada por esta secuencia, entonces, cualquier cambio que se realice en ella afectará a la expresión de uno o más caracteres del individuo.

Las **mutaciones** están estrechamente ligadas con la evolución, puesto que son un proceso de **variación** natural, el cual permite operar a la **selección natural** (Madigan et al. 1998).

El proceso mutación puede deberse a varios factores tanto físicos como químicos, y externos como internos. El organismo viviente no tiene cómo "discernir" entre una mutación "buena" o "mala" para producirla, simplemente las mutaciones ocurren, algunas de ellas resultan benéficas y otras no. El conjunto de las mutaciones benéficas que va sufriendo un individuo se manifiesta como un proceso evolutivo, por el cual el organismo cambia al azar, y algunos de los cambios le sirven para adaptarse al medio. Los detalles sobre la evolución se verán más adelante.

INGENIERÍA GENÉTICA Y BIOTECNOLOGÍA

En base a todos los conocimientos que se tienen actualmente de genética, y al acelerado desarrollo de la ciencia en los últimos años, se han desarrollado dos especialidades de la biología y la genética denominadas **ingeniería genética** y **biotecnología**.

Ambas trabajan con el material genético de los seres vivos. Actualmente se realizan procesos de aislamiento, alteración de la secuencia y adición del material genético, como por ejemplo la tecnología del **ADN recombinante** (Madigan et al. 1998). En esta sección solamente se pretende hacer referencia a estas técnicas, si se desea más información al respecto, al final de este capítulo se recomienda una lista de libros donde puede encontrarse amplia información al respecto.

Tanto la ingeniería genética como la biotecnología, son ramas de apoyo a la genética y a la biología, las cuales entre sus métodos contemplan el manipular genéticamente a los individuos, para acentuar algunas características que nos interesan, o darle al organismo facultades que normalmente no posee. Uno de los casos más conocidos de empleo de estas técnicas es la modificación genética de los vegetales para mejorar la producción y aumentar el tamaño de los frutos. Si bien estas modificaciones resultan benéficas a muchas personas, en la actualidad existe gran discusión respecto a si es correcto o no usar estos métodos de manipulación genética, incluso se ha planteado la interrogante de si realmente es

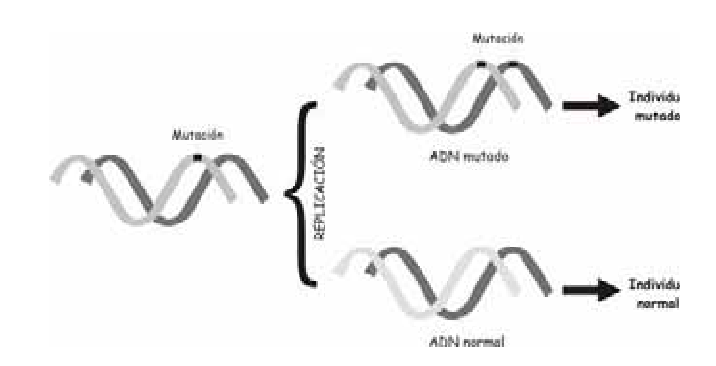


Fig. 6–9: Transmisión de una mutación en la replicación semiconservativa del ADN. La hebra que contiene la mutación dará origen a cadenas de ADN mutado que producirán individuos mutados, mientras que la cadena que no está mutada dará origen a ADN e individuos

seguro consumir productos modificados genéticamente (Käppeli & Auberson 1998).

La tecnología del ADN recombinante consiste en introducir material genético “extraño” al ADN de un determinado organismo, y hacer que éste lo reconozca como suyo y produzca las proteínas se codifican con su secuencia de bases nitrogenadas. Este es un proceso complicado y requiere de equipo sofisticado, y muchas veces se usan “vectores” encargados de llevar el ADN foráneo a la célula receptora (Madigan el al. 1998). Los vectores que se emplean en este campo son elementos pequeños que contiene ADN, como ser un virus, los cuales se encargan de transportar el material genético ajeno a la célula blanco (Moreira y Mendes 1998). Un resumen de este proceso de muestra en la Fig. 6–10.

Esta técnica se ha usado para la producción de hormonas y proteínas en grandes cantidades por medio de cultivos de bacterias. Por ejemplo, se ha usado la técnica de ADN recombinante para producir insulina para los diabéticos en grandes cantidades, introduciendo los genes que codifican la insulina en bacterias, también se producen vitaminas por este método (Hashimoto & Ozaki 1999).

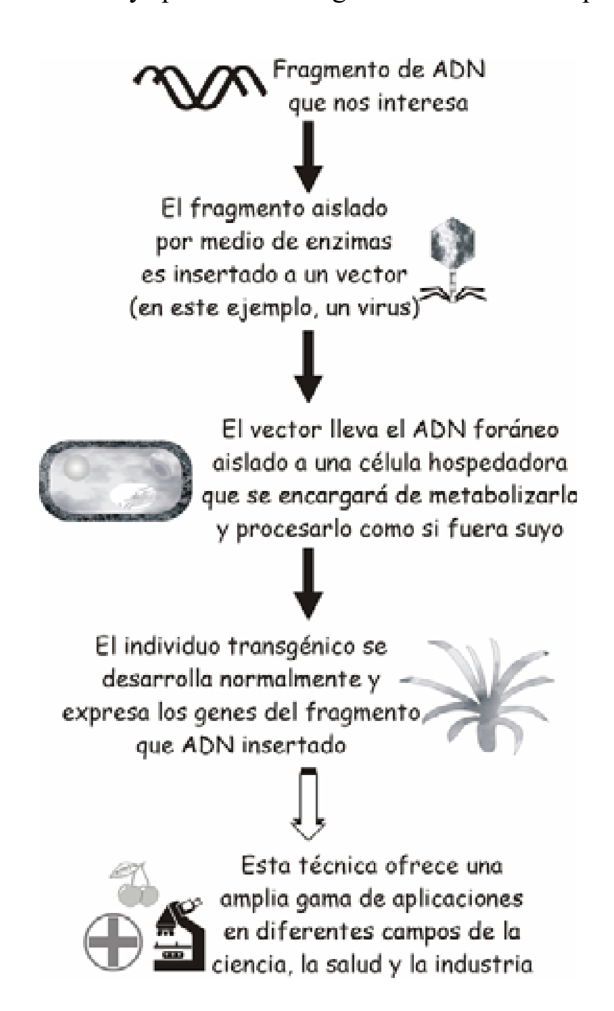


Fig. 6–10: El esquema ilustra los pasos generales que se siguen en la tecnología de ADN recombinante para a producción de individuos transgénicos.

También se han producido numerosas plantas transgénicas por medio del ADN recombinante, como por ejemplo plantas de papa (*Solanum tuberosum*) resistentes al frío o tomates (*Lycopersicon esculentum*) que no se pudren en mucho tiempo. Un caso curioso es *Nicotiana tabacum* (la planta del tabaco), la cual fue modificada y se la añadió el gen de la luciferasa de las luciérnagas, el resultado: una planta que brilla en la noche (Azcon–Bieto & Talón 1993), demostrando con esto la necesidad de genes accesorios en el proceso de regulación genética. El ADN recombinante además de utilizarse para producir plantas transgénicas tiene otros fines, como la producción masiva de proteínas de interés biológico, por ejemplo, se ha usado esta técnica para hacer que cultivos de *E. coli* produzcan grandes cantidades de insulina, la cual se usa para el tratamiento de los diabéticos.

EVOLUCIÓN

La evolución es un proceso de cambio genético, característico de las poblaciones de seres vivos (una población es el conjunto de individuos de una misma especie).

Este proceso es fundamental para la vida, puesto que permite a los organismos cambiar constantemente, para adaptarse a un medio dinámico. Estos cambios genéticos ocurren al azar y pueden resultar tanto perjudiciales como benéficos, los cambios perjudiciales no permiten a los organismos adaptarse al medio y esto los lleva a la extinción, mientras que los cambios benéficos permiten una adaptación a las nuevas condiciones del medio cambiante y así asegurar la sobrevivencia.

Los vegetales son un ejemplo muy claro de la **evolución**, ya que a partir de formas unicelulares muy simples han llegado a formar grandes poblaciones de individuos pluricelulares que se pueden apreciar hoy. Sin embargo, todavía existen formas de vida muy primitivas como **bacterias**

cianófitas o las **algas unicelulares**, que han sobrevivido hasta hoy en día por su simplicidad.

Muchos de los ancestros primitivos no han desaparecido gracias a su gran capacidad de adaptación a una amplia diversidad de condiciones y, sobre todo a su condición de **autótrofos**, que les confiere cierta ventaja sobre los organismos **heterótrofos** en condiciones adversas y cuya sobrevivencia está restringida a ciertos ambientes.

La evolución y la diversificación de los organismos vegetales responde a un proceso dinámico y constante, pero esta evolución no es lineal, presenta retrocesos y a veces ramificaciones con direcciones caprichosas. Estos procesos son debidos a la constante lucha de los seres vivos por subsistir en un medio en constante cambio. Ahora bien, el factor más importante en la evolución es la capacidad genética de adaptarse (mutar) propia de los seres vivos, ya que éste potencial genético es el responsable de que adaptarse al medio y, por lo tanto se da la evolución. El papel del medio ambiente, es en gran medida el de estimular estas características *in situ* en todos los organismos, ya que toda mutación necesita una presión constante por parte del medio.

Las plantas se han ido **diferenciando** y **diversificando** a partir de formas muy simples hasta llegar a organismos muy complejos y, a partir de éstos, se han ido desarrollando características más avanzadas debido a que las exigencias de vida son cada vez mayores. Un claro ejemplo es la adaptación de las plantas al medio terrestre, ya que las nuevas exigencias obligaron a los organismos vegetales a buscar un nuevo hábitat donde poder desarrollarse y por consiguiente, se produjeron todas las adaptaciones necesarias para poder colonizar este nuevo medio (Fig. 6–11).



Fig. 6–11: Un ejemplar de *Buddlea aymara* creciendo sobre un ambiente terrestre en el altiplano boliviano.

Para apreciar la orientación de la evolución, es necesario reconocer las características primitivas y las características evolucionadas de los organismos que se estudian, ya que la comparación de éstas en función al tiempo, revela la polaridad evolutiva. Los **caracteres plesiomórficos** o primitivos, son aquellos considerados **caracteres originales** o **ancestrales** y a partir de ellos empieza el proceso de cambio. Los **caracteres apomórficos** o derivados son el resultado de la adaptación, transformación y cambio, éstos son **caracteres evolucionados**.

Para comprender la evolución es importante considerar los siguientes aspectos:

- Reconocer la polaridad o dirección en la que se desarrolla la evolución, para apreciar la transformación evolutiva con todos sus avances y retrocesos; las adaptaciones que ocurren durante el proceso evolutivo.
- Identificar cuáles son los caracteres originales, que representan a las formas ancestrales (algunas veces hipotéticas, es decir que se carece de registros fósiles o de granos de polen).
- Identificar cuáles son los caracteres evolucionados, su relación con los caracteres originales y las posibles razones para que se haya dado tal adaptación. Para esta identificación, es necesario establecer una comparación entre los fósiles y los organismos vivientes actuales, ya que sólo comparando y razonando objetivamente es posible hacer esta diferencia.
- Habiendo ya identificado los caracteres originales y evolucionados, se fundamenta la polaridad de la evolución, considerando tanto los avances como los posibles retrocesos.

Una vez que se establece la dirección de la evolución, es correcto afirmar que mientras más parecidos son los organismos en estudio, estos están más relacionados, debido a que son producto de la evolución de un ancestro común (a veces hipotético). La **filogenia** vegetal y el grado de parentesco entre los diferentes grupos, se verá detalladamente más adelante en la sección sobre *filogenia*.

La comparación de la dotación genética y los posibles procesos de **diversificación** y/o de

convergencia entre dos poblaciones puede dar como resultado la presencia o ausencia de ancestros comunes, mismos que en el caso de presentarse pueden ser ancestros extintos o hipotéticos. Aparte de estos ancestros comunes, pueden existir fenómenos de especialización de los grupos, en elevado grado, tal que hace que el parentesco sea prácticamente nulo (Grant 1981). Un **ancestro hipotético** es aquel del cual no se tiene la certeza de que existió (es decir, no existen fósiles o pruebas contundentes de su existencia en algún tiempo, comúnmente se denomina como "eslabón perdido") y se asumen sus características en base a toda la información obtenida, como ser fósiles con gran parecido, registros palinológicos (tomados de granos de polen fosilizados) y paleontológicos (tomados de diversas muestras fósiles de troncos, tallos, hojas, semillas, resinas, y plantas completas). En este tipo de estudios es común el emplear ancestros hipotéticos en la construcción de árboles filogenéticos.

Teorías de la evolución

Antes que Charles Darwin (1809–1882) planteara la teoría de la selección natural y la lucha por la vida, hubieron otras teorías que trataron de explicar el fenómeno llamado evolución. Uno de los primeros en notar que había un cierto perfeccionamiento en los seres vivos fue Aristóteles, quien planteó que los organismos son imperfectos y que están en busca de un estado más perfecto (Villee et al. 1992).

Los fósiles encontrados en la antigüedad daban lugar a una serie de especulaciones al respecto, y una de ellas –tal vez la más acertada– fue la propuesta por Leonardo da Vinci (1452–1519), que planteó que eran seres que vivieron en el pasado y se extinguieron. Posteriormente, en la edad media la fe religiosa impuesta a muchos países obligaba a pensar que los animales habían sido creado por un dios, y que no han cambiando ni van a cambiar: son estáticos.

Posteriormente, en el Renacimiento se retomó el interés por las ciencias naturales y grandes físicos como Newton plantearon que el mundo está guiado por leyes naturales. En 1809, Jean Baptiste Lamarck (1744–1829) propuso que los organismos poseían una fuerza vital que los llevaba a evolucionar hacia formas más complejas, las cuales se heredaban a la descendencia. Según Lamarck el uso y desuso de una determinada estructura determinaba su desarrollo o desaparición (Villee et al. 1992).

Posteriormente, todas estas teorías fueron rebatidas por la teoría de la **selección natural** de Darwin, lo que se tratará a detalle más adelante.

CONCEPTOS DE ESPECIE

Para entender mejor lo que es la evolución y por consiguiente los conceptos de adaptación ecológica y especiación, es importante tener claro el concepto de **especie**, veamos que dicen algunos autores:

"Especie es la categoría taxonómica que consta de un grupo de poblaciones naturales cuyos individuos se intercruzan o están en capacidad de hacerlo, pero que de ordinario no cruzan con otros grupos semejantes aunque para ello exista la oportunidad" (Kimball 1984).

"Grupo de organismos con características estructurales y funcionales similares, que en la naturaleza sólo se cruzan entre sí y tienen en común sus orígenes ancestrales; grupo de organismos que comparten la misma poza génica" (Villee et al. 1992)

"Grupo de organismos que en realidad (o potencialmente) se cruzan entre si en la naturaleza y están aislados reproductivamente de todos los otros grupos similares; agrupamiento taxonómico de individuos anatómicamente semejantes" (Curtis & Barnes 1993).

De manera general, especie es todo grupo de individuos de características morfológicas y fisiológicas similares, capaces de intercambiar su material genético para producir descendencia fértil solamente entre ellos, y no así con otros grupos (Fig. 6–12).

También existen diversas definiciones particulares de especie.

Tomando en cuenta el grado de agrupación de individuos, se distinguen dos tipos de especies:

- *Especie Linneana:* También llamada especie mayor o especie macro, la **especie linneana** es aquella que abarca la mayor cantidad posible de individuos dentro de un mismo grupo, siendo estos incluidos por características muy

generales, es decir por la presencia de caracteres netos y visibles (como ser los caracteres anatómicos).

- *Especie Jordaniana:* También llamada especie menor o especie micro, la **especie jordaniana** es aquella que relaciona a los organismos en reducidos grupos en base a caracteres diferenciales (como la carga genética y caracteres morfológicos específicos), los cuales son muy difíciles de distinguir y son de carácter hereditario.

Una especie linneana es el conjunto de varias especies jordanianas. Los sistemáticos linneanos tienden a agrupar la mayor cantidad posible de individuos dentro de una misma categoría, mientras que los sistemáticos jordanianos tienden a separar a los individuos en grupos separados. El conjunto de especies linneanas se denomina **población** puesto que es la reunión de individuos de una misma especie; y el conjunto de poblaciones se denomina a su vez **comunidad**.

El factor primario que influye en la adaptación de una especie es el factor intrínseco o genético, el cual se traduce en genes mutantes, presentes en los individuos, los cuales permiten una adaptación efectiva. Los factores secundarios son ambientales, y se dividen en dos grupos: (1) los factores abióticos, como ser la temperatura, el agua, el sustrato, la cantidad de luz, disponibilidad de oxígeno, etc.; (2) los factores bióticos que son las demás especies con las que se relaciona (esta relación puede ser de simbiosis, competencia, antagonismo, depredación, comensalismo, amensalismo o parasitismo).

Tomando en cuenta las unidades de clasificación, existen seis tipos de especie:

- *Especie taxonómica:* Es aquella determinada por los taxa y la sistemática, la **especie taxonómica** se determina con ayuda de la sistemática.
- *Especie biológica:* Es aquella sexualmente reproductiva. La **especie biológica** está determinada por la capacidad de entrecruzamiento de los individuos para producir descendencia fértil.
- *Especie sucesional:* Es aquella que proviene de los linajes filéticos. La **especie sucesional** está determinada por el grado de parentesco con otros grupos.
- *Especie biosistemática:* Es aquella que combina la especie taxonómica y la especie biológica. La **especie biosistemática** es aquella determinada por grupos de fertilidad artificiales (teóricos) que se construyen a partir de la relación sistemática e interreproductiva de los organismos.
- *Especie evolutiva:* Es aquella que combina la especie biológica y la especie sucesional. La **especie evolutiva** toma en cuenta los linajes filogenéticos basándose en la ubicación de los ancestros en el tiempo y en el espacio, en la separación del linaje por medio de la evolución bajo un rol evolutivo unitario (individual), y las tendencias susceptibles al cambio.
- *Microespecie:* Una **microespecie** es aquella presente en poblaciones generadas por organismos uniparentales, y al presentar estos una reproducción asexual, producen un deterioro genético paulatino y progresivo, que obliga a un intercambio genético periódico con otros individuos para fortalecer nuevamente el material genético y evitar que el deterioro lleve a la especie a la extinción definitiva.

FILOGENIA

La filogenia establece las relaciones evolutivas entre los diferentes grupos de seres vivos, y mediante el enfoque evolutivo que proporciona, es posible distinguir qué grupos son ancestrales y a cuales de los grupos actuales dieron origen. Se han hecho numerosos estudios de filogenia vegetal y se ha propuesto un árbol evolutivo tentativo, como sugiere la Fig. 6–13.



Fig. 6–12: Los individuos de una misma especie tienen características morfológicas y fisiológicas similares, y son capaces de producir descendencia fértil entre ellos, pero no con otros organismos.

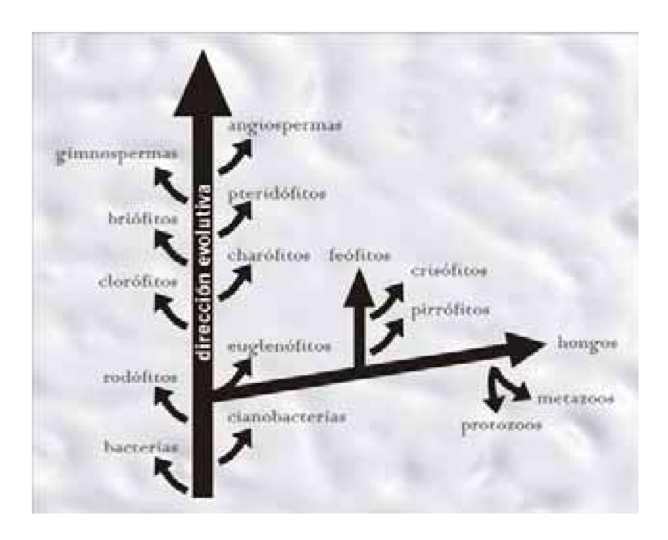


Fig. 6–13: Árbol evolutivo de los organismos vegetales, propuesto por Scagel et al (1977).

El término filogenia proviene del griego *phylon* que significa raza o tribu. Esta ciencia basa su estudio en las relaciones, las cuales se denominan **relaciones filogenéticas**. El estudio de estas relaciones se basa en el supuesto que los grupos están relacionados de alguna manera, y sustenta sus teorías en base a los registros fósiles (Scagel et al. 1977).

Uno de los más grandes problemas con los que se enfrenta la filogenia es el vacío de registros fósiles en algunos puntos. Lamentablemente no existen registros fósiles para todos los organismos que habitaron el planeta, y no es posible reconstruir totalmente la historia de un grupo. Es por esto, que nunca será posible conocer la historia evolutiva de los organismos, solamente podremos plantear teorías.

Para compensar estos vacíos, se ha creado la figura del **ancestro hipotético**, que es un ente intermedio que une dos grupos entre los cuales existe un vacío.

Un problema muy común que surge al momento de estudiar la filogenia de un grupo, es el suponer que el primero dio origen al segundo, el segundo al tercero y así consecutivamente. Este razonamiento se cumple en algunos casos, pero en otros no hay una relación directa, sino que una o más líneas futuras descienden de un ancestro hipotético, el cual se originó a partir de las formas primitivas. Sin embargo, todas estas posibilidades se basan más en especulaciones que en pruebas físicas.

Actualmente, se apoya la teoría que plantea que el Reino Mónera es el más antiguo, porque presenta organismos unicelulares procariotas. La diversidad metabólica de los Mónera es mucho mayor que la de los demás reinos, lo cual lleva a pensar, por un lado, que no son los más primitivos, y por otro lado da lugar a imaginar que los organismos eucariotas se fueron especializando y redujeron sus posibilidades metabólicas.

Luego de los Mónera, se cree que aparecieron los organismos eucariotas (con un núcleo verdadero), y son varias las teorías de origen de los mismos: algunos plantean que son una línea independiente que se desarrolló a partir de un mismo ancestro con los procariotas, otros plantean que son dos líneas paralelas originadas de ancestros diferentes y la teoría clásica que los eucariotas se originaron a partir de los procariotas, y que el núcleo es simplemente un procariota endosimbionte, al igual que los cloroplastos y las mitocondrias.

Para evitar confusiones, en este capítulo se manejará la hipótesis de que procariotas y eucariotas se originaron de un mismo ancestro común.

Los eucariotas comprenden a los reinos *Protista*, *Fungi*, *Plantae* y *Animalia*. En este capítulo, al igual que en el resto del texto, se hará un estudio de los Reinos Mónera, Protista, Fungi y Plantae, por ser los reinos de interés botánico.

La filogenia es una ciencia reconstructiva, que está muy relacionada con la sistemática. En su estudio emplea como unidad básica al taxón (plural: taxa). Existen taxa monofiléticos, los cuales descienden de un mismo ancestro común, y también se presentan los taxa polifiléticos, los cuales provienen de varias líneas evolutivas y no así de un solo ancestro común (Villee et al. 1992).

A continuación se verá la filogenia de los grupos vegetales más importantes.

FILOGENIA DE LOS GRUPOS VEGETALES MÁS IMPORTANTES

La filogenia vegetal es un campo muy amplio, pero es menester hacer énfasis en la filogenia de algunos grupos vegetales importantes, tanto por sus relaciones evolutivas, como por su expansión y diversidad.

División Cyanophyta

Las algas cianófitas son consideradas las más antiguas, la mayoría de los restos fósiles hallados pertenecen al Precámbrico y por ser muestras extremadamente fragmentarias, no constituyen significativas pruebas filogenéticas. La importancia de las algas cianófitas en las eras geológicas pasadas está dada fundamentalmente por la capacidad de ciertas especies de formar depósitos de carbonatos de calcio y magnesio, así como la capacidad de algunas especies de fijar el nitrógeno atmosférico. Se piensa que los cianófitos han evolucionado poco a poco a partir de formas unicelulares fundamentales escasamente diferenciadas (Scagel et al. 1977).

División Phaeophyta

No se conocen fósiles de algas feófitas anteriores al Triásico. La hipótesis más probable es que hayan evolucionado a partir de un ancestro biflagelado, basándose en la estructura de las células móviles de los organismos actuales.

Actualmente no se conocen algas pardas unicelulares flageladas, pero esto no quiere decir que no puedan existir, ya que el conocimiento de la riqueza marina es todavía fragmentario. En base a ciertas características morfológicas y sobre todo bioquímicas, se presume que las algas pardas se relacionan evolutivamente con las crisofíceas (algas doradas) y de las algas pirrófitas, basándose especialmente en la presencia de **clorofila C** (Scagel et al. 1977).

División Rhodophyta

A pesar de la gran diversidad de fósiles que existen, el origen de las algas rojas es todavía dudoso, aunque por el gran parecido bioquímico es muy probable que tengas relaciones evolutivas con las cianófitas; la presencia de **ficobilinas** en ambos grupos es una característica única, ya que los demás grupos vegetales no presentan estos pigmentos (la R– ficocianina y la R–ficoeritrina son las ficobilinas más importantes) (Scagel et al. 1977).

División Chlorophyta

Se especula acerca que las algas clorófitas evolucionaron a partir de las bacterias fotosintéticas ancestrales, pero se tiene una directa relación con las algas charófitas, y a las plantas terrestres, como los musgos y los helechos. Si bien las algas clorófitas no son estructuralmente tan complejas como las algas feófitas o las algas rodófitas, presentan una organización evolutiva superior, además de las similitudes bioquímicas como los pigmentos, las sustancias de reserva y la naturaleza de la pared celular. La reproducción oógama también es una característica determinante, ya que todas las plantas superiores tienen reproducción por oogamia.

El origen de las plantas terrestres no se basa en una sola línea evolutiva, las algas clorófitas presentan tres líneas evolutivas importantes:

- *Línea volvocina:* El alga verde más sencilla es *Chlamydomonas* es el género representativo de las algas verdes más primitivas, es unicelular y presenta dos flagelos iguales. La **línea volvocina** plantea que se produjeron colonias de *Chlamydomonas* denominadas **cenobios** que se encuentran unidas en la matriz mucilaginosa común; estas colonias pueden alcanzar un elevado número de individuos reunidos, *Volvox* constituye el último eslabón de esta línea evolutiva y se compone de 500 a 50.000 células.
- *Línea tetrasporina:* Empieza a partir de un prototipo palmeloide (forma unicelular inmóvil), posteriormente se producen agrupaciones que conforman talos pluricelulares más complejos. De la agrupación y ramificación de estos talos se producen las **algas parenquimáticas** y las plantas vasculares.
- *Línea sifonada:* Esta última línea, se caracteriza por presentar células polinucleadas, las cuales se agrupan para formar filamentos. Estos filamentos pueden ramificarse y agruparse para formar estructuras más complejas como un **pseudoparénquima**, el cual es producto del entrecruzamiento de numerosos filamentos en forma de una red compacta (Scagel et al. 1977).

Filogenia de las plantas vasculares

La mayoría de los autores consideran que las plantas superiores se originaron a partir de las algas clorófitas, en base a la comparación morfo–anatómica y bioquímica de algunas estructuras, como los cloroplastos, además de evidencias geológicas y registros fósiles (Scagel et al. 1977).

Otras teorías plantean el origen de las plantas vasculares en los briófitos, probablemente los antóceros. Estas teorías se basan en la comparación

de los ciclos vitales de ambas (detallados en el *Capítulo 7*) (Scagel et al. 1977).

En la colonización del ambiente terrestre, uno de los principales problemas era el de llevar el agua del suelo a toda la planta. Las plantas no vasculares terrestres como los hongos y los briófitos no se ven afectadas significativamente por este problema, por su reducido tamaño y la simplicidad de sus formas, sin embargo, un organismo más complejo y de mayor tamaño, como lo es una planta vascular, necesita de un sistema de transporte interno.

Los pteridófitos son un grupo de transición entre las plantas no vasculares y las plantas vasculares. Ellos presentan un sistema de transporte interno muy primitivo pero que les permite transportar agua y nutrientes a todo el organismo. La prueba de la efectividad de este sistema de transporte interno son los helechos de más de dos metros de altura que se pueden observar en las zonas húmedas de montaña.

Con la aparición de las gimnospermas se consolidó el sistema de transporte interno como un tejido vascular diferenciado. Las células del xilema y las del floema en este grupo son primitivas en relación a las que se presentan en angiospermas, pero es un paso adelante muy importante respecto a los pteridófitos. La presente de este tejido vascular permitió el desarrollo de individuos arbóreos de varios metros de altura, muchos de los cuales son capaces de vivir por muchos años. Otra característica fundamental en esta etapa fue la aparición de las semillas.

Posteriormente, se originaron las angiospermas, que con las semillas cubiertas y las flores verdaderas, se caracterizan por el desarrollo de un sistema de transporte interno compuesto por un tejido vascular mucho más avanzado, que con la simplificación estructural ha conseguido una mayor eficiencia (un resumen del proceso evolutivo de las plantas vasculares de ve en la Fig. 6–14).

Actualmente este grupo constituye la cúspide evolutiva de los vegetales, y sólo cabe preguntarse ¿qué vendrá en el futuro?.

Adaptación y exaptación

Los seres vivos se distinguen de la materia inerte por presentar cinco características únicas (según Madigan et al. 1998):

Auto–alimentación. Son capaces de sintetizar sus propios nutrientes o de tomarlos del medio. Este aspecto se trata ampliamente en el *Capítulo 4*.

Auto–replicación. Son capaces de dirigir su propia síntesis, lo que les permite crecer y reproducirse Este aspecto se trata ampliamente en el *Capítulo 7*.

Diferenciación. Las células pueden sufrir cambios estructurales y fisiológicos para cumplir determinadas funciones. Este aspecto se trata ampliamente en el *Capítulo 7*.

Señalización química. Son capaces de responder a estímulos internos y del medio, y de esta manera interaccionar de forma dinámica con el entorno. Este aspecto se trata ampliamente en el *Capítulo 4*.

Evolución. Los seres vivos tienen la capacidad de evolucionar para hacer frente a los cambios del medio. Esta evolución se da por medio de procesos de **adaptación.** A continuación, desarrollaremos este aspecto con más detalle.

El ambiente abiótico donde se desenvuelven los organismos vivos y las demás especies que interaccionan con ellos están en constante cambio de manera dinámica. Basta comparar los registros climatológicos actuales con los de 10 o 20 años atrás para darnos cuenta del cambio dinámico que sufre el ambiente con el transcurso

Fig. 6–14: Esquema de la relación evolutiva de las plantas vasculares. En el cladograma se señalan también los eventos más importantes en este proceso. Los ancestros hipotéticos de los que se presume derivaron algunos grupos se marcan con círculos grises.

del tiempo.

Ahora bien, si consideramos la historia de las plantas es fácil darse cuenta que el ambiente ha cambiado mucho en los millones de años que han pasado desde su aparición como formas de vida muy simples, incluso esta retrospección se hace considerable si partimos desde la colonización del medio terrestre.

De esto surge una pregunta inevitable: ¿Cómo han sobrevivido las plantas y los demás organismos vivos a un planeta en constante cambio durante millones de años?.

La respuesta a esta pregunta es la capacidad de **adaptación**. Este rasgo característico de los seres vivos es el que permite acentuar una o más características particulares para incrementar las oportunidades de sobrevivencia (Villee et al. 1992).

El proceso de adaptación de un organismo a una determinada condición es largo e implica cambios profundos. Si bien existen ciertas adaptaciones efímeras no heredables, las cuales son respuesta a un estrés temporal, un verdadero proceso de adaptación es el resultado de una mutación a nivel genético, capaz de modificar la base molecular del individuo, y ser heredable a las generaciones futuras (Fig. 6–15).

Una adaptación es el resultado de miles de años de exposición a una determinada condición, la cual determina la acentuación de una o más características.

Para considerar a un cambio en la morfología y la fisiología de un individuo como una adaptación, deben aparecer las estructuras y la función de manera simultánea, puesto que si las estructuras se desarrollan después que la función, no se puede diferenciar si se trata de un proceso de adaptación o simple coincidencia.

En el caso que las estructuras aparezcan antes que la función, se habla de una **exaptación**. Una exaptación puede entenderse como una “adaptación económica”, que aprovecha una morfología preexistente para desarrollar una nueva función. En este caso si se puede hablar de un proceso de adaptación.

El conjunto de adaptaciones que va sufriendo un organismo en función al tiempo se denomina **evolución**, y como se dijo anteriormente, esta evolución no tiene una dirección fija y lineal, sino que puede presentar avances y retrocesos e ir por varios caminos. Esta situación es mucho más comprensible si pensamos en función a las adaptaciones: es lógico que la evolución vaya teniendo avances y retrocesos porque el conjunto de adaptaciones que conforman el proceso evolutivo tienen que responder a las necesidades del individuo en un medio cambiante.

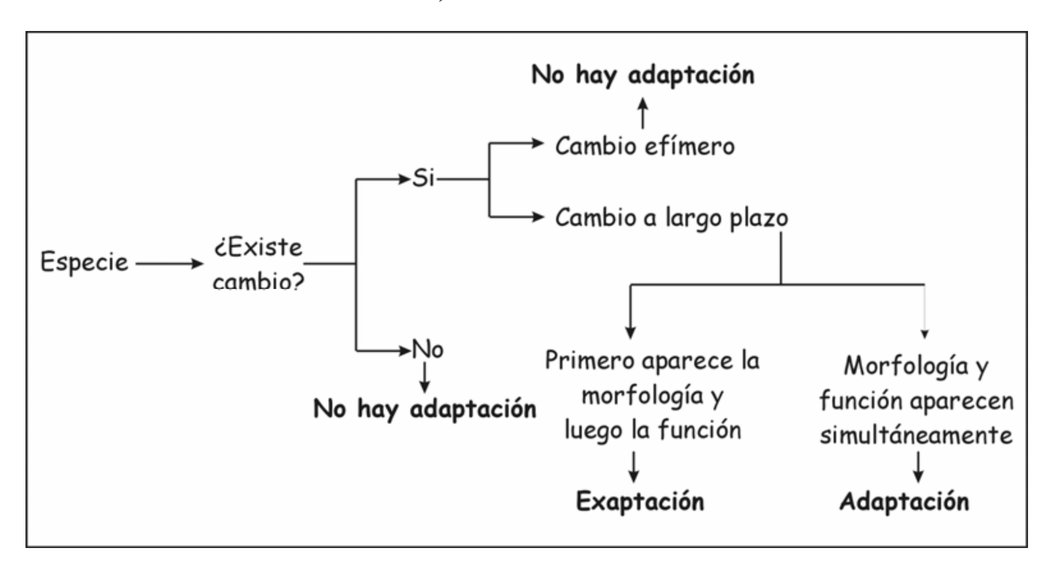


Fig. 6–15: Este diagrama de flujo de dos alternativas, nos permite ver a grandes rasgos cómo se da una adaptación, así como los tres posibles resultados que pueden presentarse en la evolución de una especie: que no exista adaptación, que se de una exaptación o que se una adaptación.

VARIABILIDAD POBLACIONAL Y NIVELES DE PARENTESCO

Una población es el conjunto de individuos de una misma especie, y mediante la evolución y la serie de cambios que implica este proceso, una sola población puede dar origen a distintas poblaciones, que si bien fueron originadas a partir de un ancestro común, presentan significativas diferencias. Es importante destacar, que los cambios y el proceso evolutivo ocurren en toda la población y no en individuos aislados, debido a que las especies en conjunto están expuestas a las mismas condiciones que inducen su transformación, y porque existe intercambio genético.

El fenómeno de **variabilidad poblacional** es posible gracias a la dotación genética que permite la transformación y mutación, que determina la capacidad de adaptación o extinción de una población según la magnitud y características del medio influyente que obliga a activar los genes mutantes y producir –por lo tanto– cambios para sobrevivir. Sin embargo, la mutación genética y sus expresiones variadas en los individuos no necesariamente logran ajustarse a los cambios del medio.

La distribución geográfica es un factor importante en cuanto a la variabilidad poblacional se refiere, debido a que muchas veces el aislamiento geográfico de una población induce a un cambio obligatorio para adaptarse al nuevo medio, debido a la dinámica biológica de cada ecosistema. Si una población, por diversas causas naturales o provocadas, queda aislada en dos regiones distintas, con el paso del tiempo, los individuos de ambas regiones serán distintos porque como los ecosistemas a los que se tuvieron que adaptar son distintos, se produjeron distintos tipos de adaptación.

A este proceso dinámico de diversificación de poblaciones por influencia de diversos factores, se lo denomina **especiación**, el cual es un proceso de vital importancia para la adaptación y sobrevivencia de los vegetales.

Para establecer el nivel de parentesco entre dos o más poblaciones se debe tener muy en cuenta la correspondencia de diferenciación, ya que los tejidos, formas, adaptaciones y dotaciones genéticas pueden revelar que las poblaciones analizadas provienen de un ancestro común. Para complementar esta correspondencia de diferenciación se deben realizar análisis morfológicos y evolutivos que reflejen caracteres filogenéticos similares para luego buscar a los posibles antepasados comunes e interpretar las líneas filogenéticas probables para poder ubicar con certeza la línea filogenética a la que pertenecen las poblaciones en estudio. En la actualidad se realizan secuenciaciones del ARN de los ribosomas para establecer relaciones de parentesco a nivel molecular. Esta técnica se basa en un sencillo principio: mientras más similar sea la secuencia de bases nitrogenadas del ARN ribosómico de dos o más individuos, más emparentados están a un ancestro común, y consiguientemente entre sí.

El proceso de análisis también puede realizarse a la inversa, basando los linajes desde las poblaciones ancestrales a las actuales.

Para establecer las líneas filogenéticas, se debe tomar muy en cuenta el factor geográfico–espacial–temporal en el que se ubican tanto el ancestro común como las poblaciones en estudio. Debido a aislamientos geográficos, cambios climáticos severos, desastres naturales y demás sucesos en el tiempo, la especie original se separa en dos o más especies diferentes que con el tiempo quedan aisladas, tanto geográfica como reproductivamente.

Existen tres tipos de variabilidad poblacional; el primero, debido al desarrollo en las diferentes etapas de vida, ya que la plántula puede presentar una morfología muy distinta que la planta juvenil y ésta a su vez que la planta adulta. Pueden variar las hojas, el crecimiento secundario (tallos leñosos) o incluso puede variar el color de la planta.

El segundo tipo de variación, es producido por la influencia del medio ambiente, ya que cuando éste varía sus condiciones (temperatura, precipitación pluvial, calidad del sustrato, cantidad de luz y sombra, entre otros) induce a una variación intergeneracional en las poblaciones que se hallan sometidas a tales cambios.

La tercera y última variación, es la de carácter intrínseco: la variación de la carga genética, esta variación se hereda a la descendencia futura. Ahora bien, un cambio tan profundo como es una modificación genética, requiere de una prolongada y continua exposición a los factores de influencia, ya

sean estos de desarrollo o ambientales. La carga genética no puede modificarse en cortos lapsos de tiempo debido a que –para activar los genes mutantes y producir una adaptación– los individuos deben pasar por un proceso largo y complejo de uso y desuso de estructuras. El cambio final se manifiesta recién con el paso de muchas generaciones.

Las variaciones genéticas son las más importantes, porque ellas determinan la capacidad de adaptación o extinción de una población. Si las nuevas formas, la capacidad reproductiva, la nueva anatomía y la nueva fisiología no son capaces de adaptarse y sobrevivir al nuevo medio, la especie se dirige irremediablemente hacia la extinción definitiva. Aquí interviene el parámetro de mutación exitosa frente a mutación no exitosa, explicada en la sección de *Mutaciones*.

La dotación genética de los individuos, les permite expresar diferentes formas externas (**fenotipos**) cuando se los requiera, según el tipo de interacción del organismo con el medio.

Se ha visto, que en los seres vivos eucariotas un 85% del material genético (en promedio) de los cromosomas no presenta codifica caracteres genotípicos, es decir que sólo el 15% de la cadena de ADN en los cromosomas codifican caracteres (Strickberger 1988; Watson 1983). Se plantea que ese "exceso" de material genético sea –por lo menos en parte– el responsable de la mutación. Si el material genético estuviera exactamente en la cantidad requerida por los caracteres fenotípicos, la mutación sería un proceso extremadamente difícil. Posiblemente el material genético no codificante es aquel que va a desarrollar las nuevas características, conservando de alguna manera la carga genética anterior porque sirve de sustrato y fuente de genes ancestrales. Si al mutar se perdiera la información anterior, una regresión de condiciones en el ambiente podría extinguir rápidamente a las poblaciones porque éstas seguirían siendo poco resistentes a los cambios. En cambio si la nueva dotación genética trabaja en conjunto con la información anterior es posible producir individuos más resistentes a condiciones adversas.

Los procesos fundamentales de la variabilidad poblacional son factores de gran importancia al momento de analizar las causas y efectos de este fenómeno, ya que en base a ellos se desarrolla todo el proceso del cambio evolutivo para una adaptación ecológica productiva; estos procesos son:

- *La naturaleza química del gen:* Los genes están formados por cadenas de ADN (ácido desoxirribonucleico), a su vez, las cadenas de ADN se componen de secuencias sistemática y lógicamente organizadas de bases nitrogenadas, y son estas secuencias de bases nitrogenadas, que –en forma codificada– contienen toda la información del individuo. La naturaleza química de estas complejas moléculas hace que sea posible la alteración y reordenamiento de la secuencia de bases nitrogenadas, generando nuevos códigos, con nueva información la cual es la responsable de la manifestación de nuevos caracteres genotípicos y/o fenotípicos.
- *Mutaciones y anormalidades:* Dada la naturaleza química de los genes y la capacidad que tienen estos de modificar las secuencias de bases nitrogenadas y bajo ciertas condiciones extraordinarias (como presencia de agentes químicos tóxicos, radiaciones, contaminación, estrés ambiental, etc.) es posible que se manifiesten ciertos caracteres anormales debidos a una modificación errónea de la información genética. Por suerte, la naturaleza crea su propio mecanismo de protección contra este tipo de anormalidades y mutaciones haciendo estériles a la mayoría de los organismos con **genotipos** defectuosos, ya que al estar alterado el material genético la meiosis normalmente no llega a completarse, y por consiguiente no se pueden formar gametos; sin embargo, en plantas existen algunos métodos de compensación de estas fallas cromosómicas, como ser la reproducción por poliploidía, que se verá a detalle en la sección de *Híbridos*.
- *Las diferencias genéticas y cromosómicas entre plantas:* Una misma planta puede poseer genes que caractericen (expresen) a dos fenotipos diferentes, dado que la carga genética siempre es **diploide.** Es posible que durante la meiosis se produzca una división errónea que pueda generar gametos incompletos o poliploides, los cuales dan origen a una generación filial diferente a la generación parental.
- *Variaciones fenotípicas:* El genotipo ese capaz de expresar diversos fenotipos de acuerdo a la interacción que tenga con el medio. La presencia de condiciones extremas de temperatura, viento, sustrato, agua y precipitación pluvial, contaminación por sustancias tóxicas, entre

otros, inducen a una **alelopatía**, que es un medio de defensa química.

- *Variaciones durante el desarrollo:* Es posible que se presenten diversos cambios morfológicos y fisiológicos durante el desarrollo del organismo desde el estadio de plántula hasta llegar a ser adulto, pasando por el estadio juvenil. Durante cada etapa del desarrollo las necesidades de la planta son diferentes y ésta se ve obligada a desarrollar nuevas estructuras. Un claro ejemplo es la elongación de los segmentos internodales hasta que empieza la producción de flores o también la variación en el borde de las hojas, que puede empezar siendo liso mientras se encuentra en el estadio de plántula, para pasar a ser aserrado en la etapa juvenil y finalmente a ser lobulado en la etapa adulta.

SELECCIÓN NATURAL

La **selección natural** fue planteada por primera vez en 1859 por Darwin, como el fundamento base para respaldar su teoría de *El origen de las especies*.

La selección natural o la supervivencia de los más adecuados, refleja la lucha de los organismos por la existencia (Darwin 1992). Las condiciones naturales son muy diferentes a las ideales consideradas en los modelos que usualmente se emplean en ecología para explicar el crecimiento, puesto que en la naturaleza no existe la posibilidad de sobrevivencia para todos, porque el ambiente y los recursos son limitados, y existe competencia entre los individuos de la misma especie y entre especies.

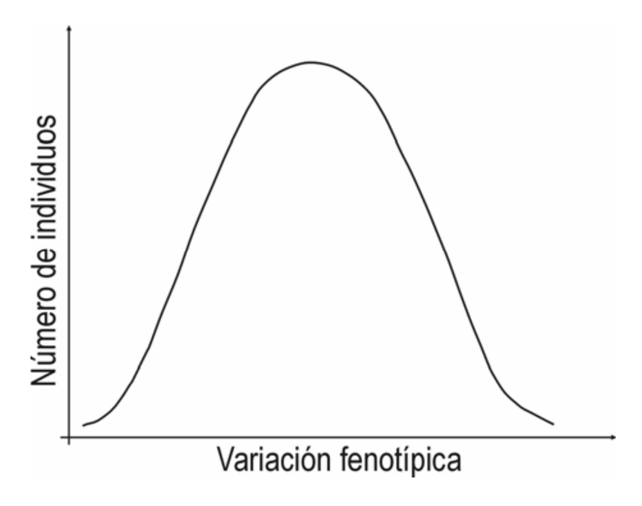


Fig. 6–16: Curva de distribución normal (campana de Gauss) de la variación fenotípica en una población en función al número de individuos. Esta gráfica muestra que existe una marcada tendencia a presentar un fenotipo intermedio pero bajo un control poligénico, donde existe un gradiente del número de individuos que presentan los fenotipos que se van alejando de la media.

Darwin basó la teoría de la selección natural en las siguientes observaciones:

1) Los miembros individuales de una misma especie muestran entre sí algunas variaciones (atribuidas al asilamiento, la domesticación, causas genéticas, etc.)
2) Se producen muchos más organismos de los que pueden encontrar alimento y sobrevivir en la edad adulta, por falta de espacio, recursos y la competencia intra e interespecífica.
3) Se desarrolla una lucha por sobrevivir entre los individuos producidos, en la que ganan los mejor adaptados y perecen los débiles.
4) Los sobrevivientes son capaces de transmitir las características que los aventajan sobre los además a sus descendientes (postulados resumidos de Darwin 1992 y Villee et al. 1992).

El proceso de selección natural altera las frecuencias génicas de las poblaciones, pero no lleva a la producción de organismos perfectos. Esto se debe a que la selección natural no crea nuevos fenotipos, sino que elimina a los fenotipos menos adaptados (con menos probabilidades de supervivencia). Usualmente las características que determinan estos fenotipos se hallan en varios genes, y a distribución de los fenotipos es normal, en forma de una campana de Gauss (Fig. 6–16). La selección natural presenta tres procesos básicos: la selección estabilizadora, la selección direccional y la selección desorganizadora (Villee et al. 1992).

Selección estabilizadora

Este tipo de selección natural es característico de una población bien adaptada a su medio. En ella se favorecen a los individuos con los fenotipos de a parte media de la curva normal (los mejor adaptados) y se eliminan a los de los extremos (Fig. 6–17). Este tipo de selección es frecuente en un medio que ha sido estable por mucho tiempo (Villee et al. 1992).

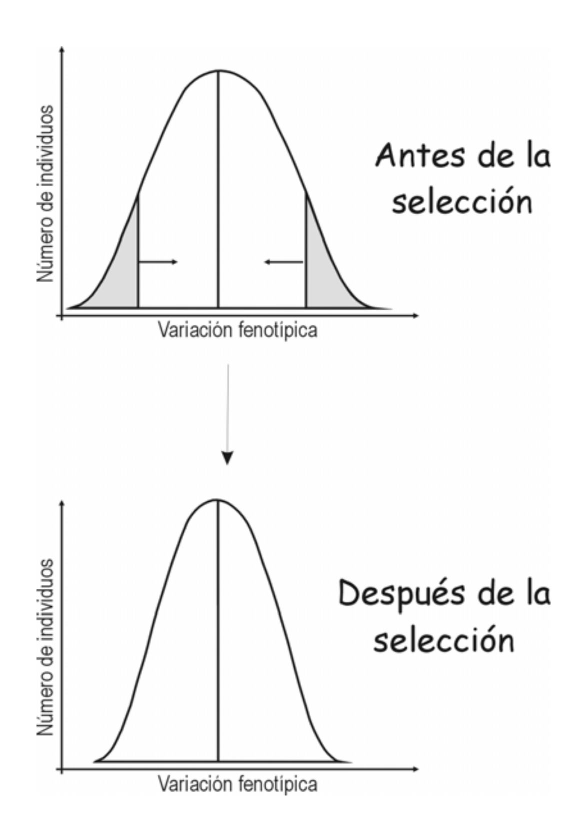


Fig. 6–17: Selección estabilizadora. Los fenotipos de los extremos se van reduciendo, y luego de la selección el fenotipo medio es predominante.

Selección direccional

Es característica de un medio que cambia con el transcurso del tiempo. Este tipo de selección favorece a los individuos con fenotipos ubicados en uno de los extremos de la curva normal, los cuales irán desplazando progresivamente a los demás (Fig. 6–18) para garantizar una adaptación dinámica a un medio en constante cambio (Villee et al. 1992).

Selección desorganizadora

Este tipo de selección natural favorece a los organismos con fenotipos ubicados en los extremos de la curva normal y descarta a los organismos con el fenotipo promedio (Fig. 6–19). Esta selección tiene una tendencia en varios sentidos y es característica de poblaciones que tienden a expandir su área de distribución (Villee et al. 1992).

La selección natural, además puede producir convergencias y divergencias de caracteres, influir sobre la selección sexual e incluso causar la extinción de una especie.

Un ejemplo ilustrativo de selección natural, relacionado a la botánica, son las especies herbáceas de un bosque húmedo amazónico. Antes de desarrollar las consideraciones de selección natural para el caso, es importante imaginarse el bosque amazónico: los numerosos árboles y la densa cobertura de vegetación. Ahora bien, las plantas herbáceas producen un elevado número de semillas, de las cuales no todas germinan, en este punto actúa la selección natural por primera vez ya que sólo germinan las semillas mejor adaptadas a la dispersión y a las posibles condiciones adversas.

Una vez germinadas las semillas, las plántulas emergentes competirán entre ellas y con las demás plantas del bosque por el agua y los nutrientes del suelo. Cuando las plántulas desarrollan y se transforman en adultos, deben competir con los árboles por la luz, el agua del suelo y los nutrientes, y además están expuestas al estrés de la herbivoría por parte de las especies animales.

En este transcurso, las plantas menos adaptadas mueren en las diferentes etapas de desarrollo, mientras que las que presentan estructuras óptimas

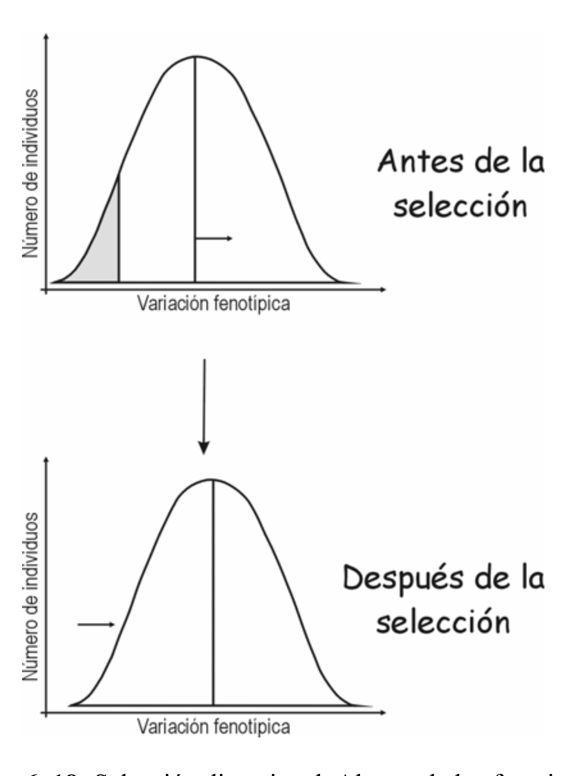


Fig. 6–18: Selección direccional. Alguno de los fenotipos diferentes al fenotipo medio se ven favorecidos y luego de la selección la curva sufre un desplazamiento hacia ellos.

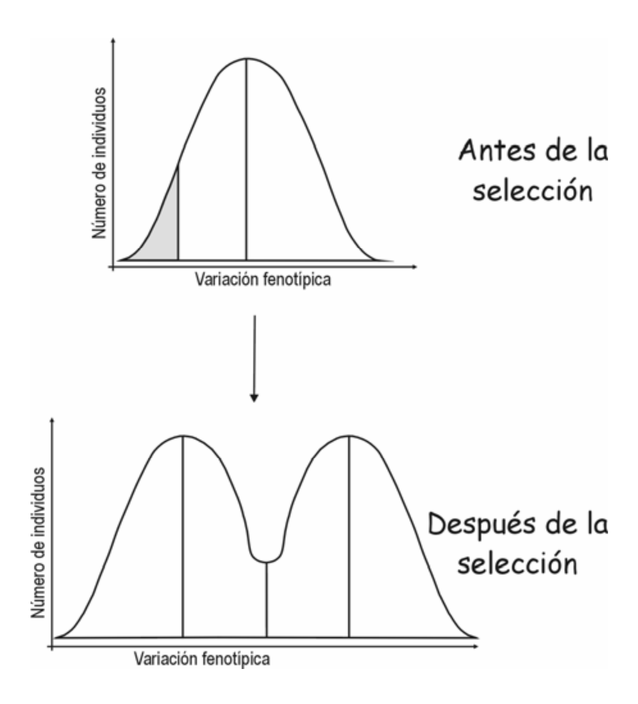


Fig. 6–19: Selección desestabilizadora. El fenotipo medio se ve desfavorecido, luego de la selección se observa un desarrollo significativo de los fenotipos marginales. Usualmente se producen dos o más picos en la curva resultante, para este tipo de selección.

para la absorción de agua y nutrientes, de defensa contra los herbívoros y desarrollan una adaptación de los pigmentos para aprovechar mejor la luz del sotobosque serán las que sobrevivan.

La selección natural es un proceso fundamental para garantizar la estabilidad de los ecosistemas, puesto que constituye un freno a la explosión demográfica de las poblaciones. Si consideramos un modelo exponencial hipotético (este modelo se desarrolla en el *Capítulo 8*), cada organismo produce uno o más descendientes, y la población se va incrementando indefinidamente. Si se diera este incremento sin control, tendríamos muchos ejemplos vivientes de la teoría de Tomás Malthus: habría una hambruna general y por consiguiente una muerte masiva.

Los diferentes procesos por los cuales actúa la selección natural permiten mantener las poblaciones en una densidad factible de sobrevivir en un determinado ambiente. Un ejemplo –fuera de la botánica– que se acerca a la teoría de Tomás Malthus es el ser humano, que con diversos mecanismos ha hecho frente a la selección natural y la población está en un proceso de crecimiento, casi sin ninguna limitación. Los problemas de este crecimiento pueden imaginarse pensando en países sobrepoblados, donde la calidad de vida es muy baja y los individuos empiezan a morir de hambre por falta de recursos.

La selección natural también se puede entender en términos de genética, como la selección a favor o en contra de determinados fenotipos o genotipos.

HÍBRIDOS

Ahora hablaremos de los híbridos en el contexto de los híbridos entre especies. Un **híbrido** es el producto de la combinación genética de dos especies distintas de un mismo género. El resultado de esta combinación es un individuo híbrido que puede ser fértil, semiestéril y estéril, pero en todos los casos en plantas se puede llegar a producir una generación posterior. La diferencia entre la degeneración del híbrido y una completa esterilidad de éste puede ser pequeña en términos de porcentaje, pero significativa en términos biológicos, como muchos científicos han podido comprobar.

Al final, todo depende del alineamiento que consigan los cromosomas, el ejemplo más interesante es el *Triticale*, un híbrido de laboratorio entre trigo y centeno, en el cual los cromosomas están juntos pero no unidos (tienen unas pocas micras de separación), y cuando se plantan las semillas de esta planta crece o trigo o centeno, pero no *Triticale*, porque esa pequeña separación impide una segregación correcta de los gametos.

Un híbrido F_1 (denominación abreviada para la primera generación, también llamada *Filial 1*) parcialmente fértil puede reproducirse sexualmente si se cruza con híbridos con un grado de parentesco directo o con cualquiera de las especies de origen. El resultado de este cruce puede reproducirse a su vez con las plantas originales para procrear; el resultado de este proceso es un conjunto de híbridos, una gran mezcla de especies, híbridos, cruces inversos y recombinaciones de generaciones posteriores (Fig. 6–20).

El término híbrido es usado por los científicos para denominar a una amplia gama de fenómenos, incluidos los cruces entre diferentes genotipos pertenecientes a una misma población y los productos de tal injerto entre especies genéricas o específicas. Algunas restricciones de terminología objetan el uso de este término bajo un punto de vista

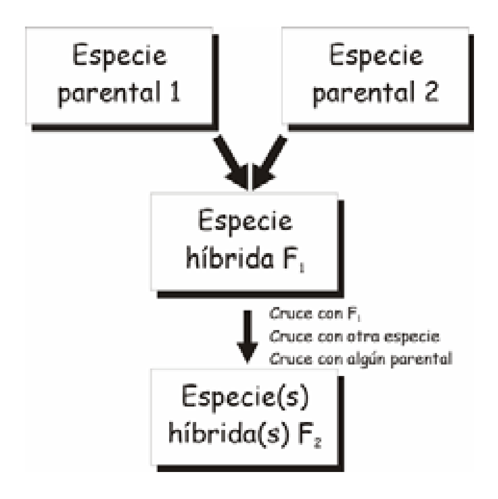


Fig. 6–20: Producción de la generación híbrida F_1 a partir de los organismos parentales (dos especies diferentes), y la producción de una segunda generación híbrida F_2 por el cruce de la especie híbrida F_1 consigo misma, con otra especie o con alguna de las especies parentales. Este proceso también se conoce como especiación.

evolutivo. Stebbins (1959) ha definido la hibridación como el cruce de individuos de diferentes especies con diferentes normas de adaptación.

Los híbridos fértiles usualmente son aquellos que resultan de plantas perennes de larga vida (leñosas). Los híbridos estériles normalmente se originan de plantas herbáceas que viven menos de dos años, estos híbridos tienen baja probabilidad de sobrevivencia. Desde el punto de vista de la genética, la fertilidad o esterilidad de un híbrido depende de la localización de los **alelos**, ya que si estos se reúnen con sus homólogos el resultado es un híbrido fértil y viceversa.

La formación de híbridos aislados capaces de reproducirse, procedentes de un ancestro común, pueden causar alteraciones en las líneas de divergencia que separa a ambas especies. La reproducción del híbrido es posible a pesar de que ambas especies por separado no se puedan interreproducir.

La hibridación, en este sentido, representa un proceso de regresión de la evolución divergente. La magnitud de esta regresión depende del espacio geográfico donde se manifiesta. Este fenómeno puede ocurrir tanto entre especies afines como entre especies completamente separadas que han restablecido contacto en una nueva frontera geográfica. El resultado en último caso es una amplia gama de especies intermedias que se las conoce y denomina por la zona de la segunda hibridación. Los efectos de la hibridación pueden ser efímeros o duraderos, dependiendo del grado de interrelación de las especies y el tiempo de contacto transcurrido.

En plantas superiores es probable obtener un punto de reproducción absoluta en el híbrido aún con especies de completa incompatibilidad de combinación. Esto ha dado más posibilidades para resolver algunos productos híbridos completamente estériles, mediante mecanismos de aislamiento externo, que si bien son poco comunes son muy efectivos para tales propósitos. Normalmente, se crean varios híbridos interespecíficos de forma natural, presumiblemente F_1s conocidos en la mayoría de grupos vegetales bien estudiados. Varios autores han elaborado listas de híbridos vegetales naturales de acuerdo al espacio geográfico y al tipo de plantas que intervienen en tal proceso, por lo que la cantidad de éstos es muy amplia.

Tipos de hibridación

Existen dos tipos de hibridación: natural y artificial. La **hibridación natural** es la que se da en el reino vegetal como un medio de especiación y de complementación entre especies afines. La **hibridación artificial** es aquella en la que interviene el hombre y mediante la manipulación genética crea plantas nuevas con nuevas características en base a dos plantas progenitoras diferentes. Usualmente este procedimiento se da para una mejora del fruto, de las flores o para resaltar algunas características de una de las plantas o de ambas.

Algunas propuestas evolutivas apoyan la hibridación considerándola como un medio la supervivencia de algunas especies al reforzarse con otras y también como un medio de mejorar la alimentación para la raza humana y los animales. Pero en todo esto también interviene una parte ética que marca la línea entre un fenómeno normal de compatibilización de especies y la creación de monstruos. La relación que hay entre ambas partes debe ser objeto de una revisión sobre los trabajos realizados actualmente para ver tanto el beneficio que pueda dar ese producto y la clase de manipulación realizada. Si se estuviera hablando de un producto híbrido creado por la naturaleza, la parte ética dejaría de ser un inconveniente.

Ocasionalmente la hibridación natural en el reino vegetal es un proceso normal cuando dos especies entran en contacto, ya que muchas especies pueden vivir interrelacionadas en un mismo espacio geográfico sin que se produzcan híbridos entre ellas. La principal causa para que no se de esta hibridación es la compatibilidad entre las especies. Este es un mecanismo de control interno de la naturaleza para limitar de alguna manera la hibridación natural entre los grupos más generales. Pero estas barreras de incompatibilidad no son absolutas, ya que con técnicas de laboratorio se han podido crear híbridos de plantas naturalmente incompatibles.

La hibridación natural también es un medio de control del hábitat, debido a que generaciones duraderas y las recombinaciones de éstas necesitan un número mayor de nichos ecológicos debido a las características particulares de cada una. Debido a esto, se crean hábitats intermedios que ayudan a mantener una gran variedad de especies y a su vez favorecen al crecimiento de los híbridos naturales, ya que al tener condiciones favorables para la mezcla se producen más especies intermedias. Otro beneficio de este fenómeno es que se aprovechan hábitats deshabitados, ya que los híbridos se adaptan a ese medio y lo transforman en uno apto para sus necesidades y para reproducirse.

El número de híbridos vegetales naturales es superior al de híbridos animales naturales, debido a que la estructura genética de los vegetales es más simple y más compatible entre especies que la de los animales. Si bien ambos procesos están relacionados con una evolución constante, los cambios se manifiestan de una manera más rápida en los vegetales que en los animales, en parte debido a que las plantas que necesitan de vectores (insectos) para su reproducción (mediante la polinización), amplían la posibilidad de crear híbridos cuando los insectos recogen el polen de una planta y lo depositan en el estigma de otra que no sea de la misma especie, pero si genéticamente compatible.

En híbridos de la misma especie pero con distintas características morfológicas, como por ejemplo el color de las flores o la textura de las hojas, se pueden producir mezclas totales donde los caracteres dominantes manifiesten sus características en una relación 3:1 para el fenotipo y 1:2:1 para el genotipo, con los caracteres recesivos. Si se diera el caso de una dominancia incompleta de los caracteres de los progenitores, se da origen a un nuevo color de flor, por ejemplo, que resulta de la combinación de ambos en el fenotipo.

Ventajas y desventajas

La hibridación natural presenta marcadas ventajas y desventajas. Algunas de las ventajas son:

- Se pueden producir especies superiores en cuestión de nutrición y especies más resistentes al medio haciendo posible su subsistencia a pesar de que el clima sea cada vez más hostil.
- Los organismos pueden hacerse más resistentes a animales predadores o a microorganismos, desarrollando mecanismos de defensa para poder sobrevivir al ataque de otras especies. Muchas veces esto es debido a la combinación de especies muy emparentadas entre sí, que crean un punto intermedio.

La hibridación natural también presenta varias desventajas como:

- Algunos híbridos dañinos al hacerse más fuertes y resistentes atacan a otras plantas acaparando todos los nutrientes de la tierra, el agua y la luz (haciendo sombra), haciendo más difícil la existencia de otras especies o incluso erradicándolas por completo.
- Se puede producir un daño al hábitat si la planta híbrida tiene una gran capacidad de absorción de nutrientes, pudiendo erosionar los suelos o incluso al ocasionar la muerte de otras plantas por los factores anteriormente mencionados o afectar a los animales que dependen de ellas. También pueden crear un desequilibrio en los factores bióticos del hábitat donde se encuentran, ya que sus mecanismos de defensa

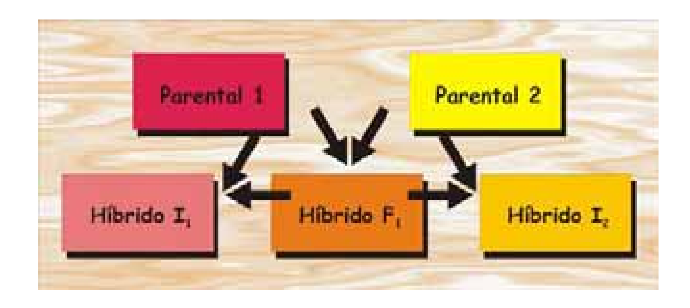


Fig. 6–21: Esquema que muestra cómo se da el proceso de introgersión en los híbridos. La introgersión se caracteriza por el cruce del híbrido con alguna de las especies parentales de las cuales resulta, dando un segundo híbrido diferente tanto al híbrido primero como a los parentales.

pueden ser demasiado efectivos y eliminar a ciertas especies de insectos o a bacterias del suelo (bacterias nitrificantes, por ejemplo), que si no llegan a ser necesitadas por el híbrido, sí son necesarias para la mayoría de las otras especies.

- La agricultura se ve afectada cuando la maleza que crece junto a las plantaciones se hibrida con especies que se están cultivando para poder sobrevivir. Muchas veces este fenómeno echa a perder las cosechas porque, si bien la planta se hace más resistente pierde las propiedades de interés para el agricultor. Un claro ejemplo es el maíz comestible (*Zea mays*), que se hibrida fácilmente con *Zea mexicana* y el producto del tal mezcla no es comercializable. Sin embargo, plantas como el plátano necesitan combinar su carga genética con otras especies para fortalecerse, es decir, que deben hibridarse con otras especies para sobrevivir.
- Finalmente, las nuevas especies híbridas son de difícil clasificación taxonómica, ya que tienen características morfológicas y fisiológicas de ambas especies. Por lo que muchas veces quedan en géneros y familias intermedias ampliando en exceso los registros de clasificación y haciendo que ésta sea más difícil y que se incremente la necesidad de actualizar el inventario de especies con más frecuencia.

Formas especiales de hibridación y dispersión. Formas de adquirir fertilidad

Una forma muy particular de hibridación natural es la **introgersión**. Se denomina introgersión al proceso por el cual un híbrido F_1 se recombina con alguna de las especies parentales que le dio origen, formando un nuevo híbrido I_1 que vendría a ser una especie intermedia entre una de las especies parentales y la especie híbrida (Fig. 6–21). La introgersión es sobre todo un método de fortalecimiento para crear una especie híbrida nueva, más resistente que la especie parental y la especie híbrida que le dieron origen, o bien incrementan el grado de fertilidad del híbrido.

Los híbridos vegetales, tienen la capacidad de dispersarse para abarcar la mayor amplitud geográfica posible gracias a su gran adaptabilidad. Los principales medios de dispersión son:

- *Por apomixis:* La **apomixis** es una forma vegetativa de reproducción, es decir, en ella no existe la intervención de gametos. Normalmente se da por la generación de un nuevo organismo a partir de una sección de la planta madre (como por ejemplo los estolones de frutilla). Durante el proceso de formación de un nuevo individuo a partir de un segmento vegetativo, se pueden producir híbridos –gracias a la influencia del medio– con fenologías que varían considerablemente de generación en generación.
- *Por poliploidía:* **Poliploidía** se define como el exceso de material genético. En los híbridos, la poliploidía es un medio de fertilización que hace que los híbridos estériles o semiestériles puedan reproducirse. Para ello, el híbrido estéril o semiestéril produce gametos inviables por meiosis y, a partir de uno de estos gametos defectuosos inviables, se genera un individuo poliploide 4n que se divide meióticamente produciendo un "gameto" (2n) que se convierte en un nuevo individuo fértil, debido a que en él existen ya alelos homólogos debidamente apareados (Fig. 6–22).

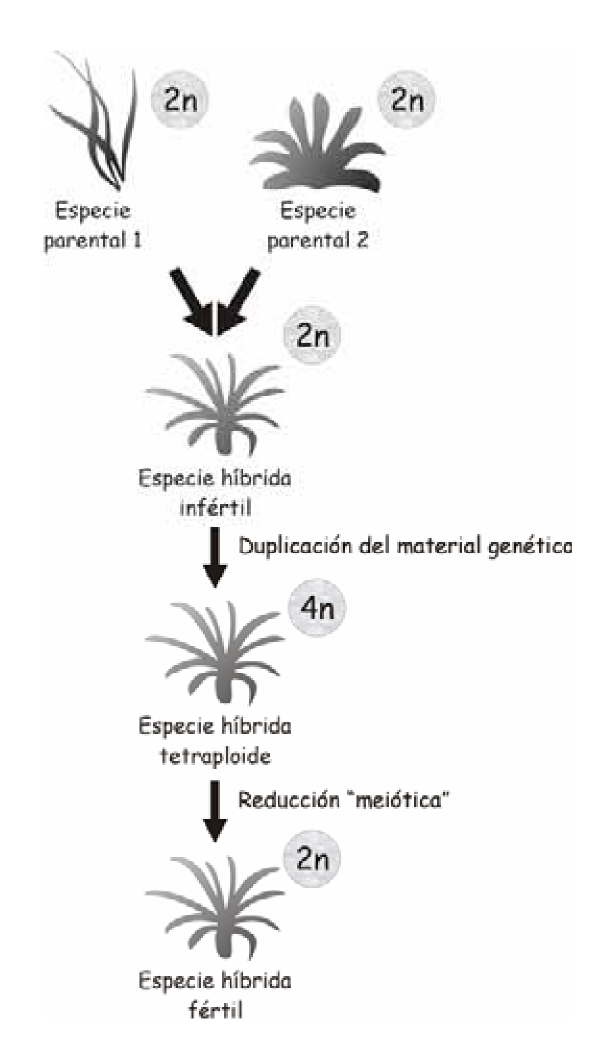


Fig. 6–22: Esquema que muestra el proceso de producción de híbridos fértiles por medio de poliploidía.

Para terminar, es menester aclarar que los injertos de plantas (por ejemplo, en los árboles frutales) no son híbridos, son solamente porciones de una planta que se encuentran insertas en otra aprovechando sus nutrientes y su soporte. En ningún momento se produce una combinación genética entre ambas plantas, cada porción conserva su independencia y mantiene su dotación genética intacta. Se han dado casos en los que los frutos de cualquiera de las partes del injerto presentan una cierta influencia de la otra porción, pero este fenómeno se debe simplemente al intercambio de algunas sustancias por medio de los tejidos de conducción, pero de ninguna manera puede presentarse una combinación celular o genética.

CUESTIONARIO

1) ¿Qué son el ADN y ARN? ¿Qué función desempeñan en los seres vivos?.
2) Discuta brevemente sobre las mutaciones exitosas y no exitosas, con relación a las adaptaciones y la supervivencia.
3) ¿Qué es evolución?.
4) Defina caracteres plesiomórficos y caracteres apomórficos.
5) De su propio concepto de especie en base a todo lo expuesto en el presente capítulo.
6) Indique los factores primarios y secundarios que originan la variabilidad poblacional, y cite los diferentes tipos de variación que existen.
7) Mencione y explique brevemente los procesos fundamentales de variabilidad poblacional.
8) ¿Qué es la selección natural y cómo opera?.
9) Defina: híbrido, híbrido fértil, híbrido estéril, hibridación natural e híbridos viables.
10) ¿Qué es introgersión? ¿Cuál es su utilidad?.

REFERENCIAS

- Azcon–Bieto, J. & M. Talón. 1993. *Fisiología y bioquímica vegetal.* Editorial Interamericana • McGraw–Hill, Madrid, pp 22, 494–504.
- Campbell N., L. Mitchell & J. Reece. 1994. *Biology: Concepts & Connections*. Editorial Benjamin Cummings, EUA, pp 150–165.
- Curtis, H. & S. Barnes. 1993. *Biología*. Editorial Médica Panamericana, Cali, p G–8.
- Darwin, C. 1992 *El origen de las especies.* Traducido por Ediciones Grijalbo del original *On the origin of the species by means of natural selection*, *or the preservation of favoured races in the struggle for life* (1859). Ediciones Planeta–Agostini, Barcelona, pp 101–165.
- Grant, V. 1981. *Plant speciation.* 2º Edición, Columbia University Press, Nueva York, pp 193–204.
- Griffiths A., J. Miller, D. Suzuki, R. Lewontin & W. Gelbart. 1998. *Genética*. 5º edición, 2º reimpresión, Editorial McGraw–Hill • Interamericana, Madrid, p 124.
- Hashimoto, S. & A. Ozaki. 1999. *Whole microbial cell processes for manufacturing amino acids, vitamins or ribonucleotides*. Current Opinion in Biotechnology, 10: 604–608.
- Käppeli, O. & L. Auberson. 1998. *How safe is safe enough in plant genetic engineering?*. Trends in plant science: Perspectives, 3 (7):276–281.
- Kimball, J.. 1984. *Biología*. 4º edición, Editorial Addison–Wesley Iberoamericana, México DF, pp 855–856.
- Kornberg A. & T. Baker. 1992. *DNA replication*. 2º edición, Editorial W. H. Freeman, EUA, p 20.
- Madigan M., J. Martinko & J. Parker. 1998. *Brock: Biología de los microorganismos.* 8º edición, Editorial Prentice Hall, Madrid, p 4, 9, 358–366.
- Moreira, C. & D. Mendes. 1998. *Vectores de Clonagem*. Acção Foco, Universidad de Évora, Portugal, http://www.dbio.uevora.pt/LBM/Foco/Vectores/vectores.html.
- Raven, P. & H. Curtis. 1975. *Biología vegetal*. Editorial Omega, Barcelona, pp 325–335.

- Scagel R., R. Bandoni, G. Rouse, W. Schofield, J. Stein & T. Taylor. 1977. *El Reino vegetal: los grupos de plantas y sus relaciones evolutivas*. Ediciones Omega, Barcelona, pp 152, 167–168, 228–229, 257–258, 275–281, 298–300, 354–355, 597–603.
- Strickberger, M. 1998. *Genética*. 3º edición, Editorial Omega, Barcelona, pp 25–26.
- Stryer, L. 1995. *Bioquímica tomo I.* 4º edición, Editorial Reverté, Barcelona, pp 75–87.
- Villee C., E. Solomon, C. Martin, D. Martin, L. Berg & W. Davis. 1992. *Biología.* 2º edición, Editorial Interamericana • McGraw–Hill, México DF, pp 10, 19, 201–210, 218–230, 265–280, 377–380, 403–406, 475, 1343.
- Watson, J. 1983. *Biología molecular del gen*. 3º edición, Editorial Fondo Educativo Interamericano, pp 150–151, 206, 258–260.

Lecturas complementarias recomendadas

- Atlas, R. & R. Bartha. 2002. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 4º edición, Addison Wesley, Madrid, 677p.
- Azcon–Bieto, J. & M. Talón. 1993. *Fisiología y bioquímica vegetal.* Editorial Interamericana • McGraw–Hill, Madrid, 580p.
- Campbell N., L. Mitchell & J. Reece. 1994. *Biology: Concepts & Connections*. Editorial Benjamin Cummings, EUA.
- Curtis, H. & S. Barnes. 1993. *Biología*. Editorial Médica Panamericana, Cali.
- Darwin, C. 1992. *El origen de las especies.* Ediciones Planeta–Agostini, Barcelona.
- Fontúrbel, F. 2002. *Impacto de las plantas transgénicas en la agricultura y la economía.* Memoria de las III Jornadas Internacionales de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad Nuestra Señora de La Paz, La Paz.
- Grant, V. 1981. *Plant speciation*. 2º Edición, Columbia University Press, New York.
- Kimball, J. 1984. *Biología.* 4º edición, Editorial Addison–Wesley Iberoamericana, México DF.
- Klug, W. & M. Cummings. 1999. *Conceptos de Genética*. 5º edición, Editorial Prentice Hall, Madrid.
- Madigan M., J. Martinko & J. Parker. 1998. *Brock: Biología de los microorganismos*. 8º edición, Editorial Prentice Hall, Madrid.
- Raven P. & H. Curtis. 1975. *Biología vegetal.* Editorial Omega, Barcelona.
- Raven P., R. Evert & S. Eichhorn. 1991. *Biología de las plantas,* Tomos I y II. Editorial Reverté, Barcelona.
- Smith C. & E. Wood. 1997. *Biología celular.* Editorial Addison–Wesley Iberoamericana, EUA.
- Smith C. & E. Wood. 1998. *Biología molecular y biotecnología.* Editorial Addison–Wesley Iberoamericana, EUA.
- Stryer, L. 1995. *Bioquímica,* Tomos I y II 4º edición, Editorial Reverté, Barcelona.
- Villee C., E. Solomon, C. Martin, D. Martin, L. Berg & W. Davis. 1992. *Biología.* 2º edición, Editorial Interamericana • McGraw–Hill, México DF.

Páginas en Internet

- ✓ American Journal of Botany: http://www.amjbot.org
- ✓ Biología Celular – Universitat de Barcelona: http://www.bio.ub.es/biocel/
- ✓ Biología.org: http://www.biologia.org
- ✓ Filogenia: http://phylogeny.arizona.edu/tree/home.pages/popular.html
- ✓ Laboratorio de Biología Molecular de la Universidad de Évora: http://www.dbio.uevora.pt/LBM/
- ✓ Revista BioEssays: http://www.bioessays.demon.co.uk

Para información actualizada, nuevos enlaces y material didáctico adicional visitar:

http://www.mbotanica.8m.com



Líquenes foliosos y fruticosos, en el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales
Fotografía: F.E. Fontúrbel 2007

CAPÍTULO 7

DIVERSIDAD Y DESARROLLO

Los reinos Plantae, Fungi, Mónera y Protista comprenden organismos muy diversos, en cuanto a morfología, fisiología, **ciclos vitales** y **reproducción**. Esta diversidad es el producto de millones de años de **evolución**, en los cuales los organismos se fueron diferenciando y diversificando, de acuerdo a las nuevas exigencias ecológicas y de esta manera se produjeron todas las formas vegetales actuales.

Las características comunes que agrupan a las plantas taxonómicamente son dos: la presencia de pared celular y la capacidad de fotosíntesis. Todas las demás características varían entre los diferentes grupos de plantas, ya que no existe ninguna forma generalizada de tejidos, crecimiento, organización, reproducción, desarrollo ni ciclo vital. Por esta razón, es que se debe estudiar la diversidad y el desarrollo en la dimensión real de sus formas y variedades, analizando y comparando a cada uno de los grupos importantes, incluyendo a los hongos y a las plantas no vasculares.

REPRODUCCIÓN

Dado que los seres vivos tienen un determinado tiempo de vida y van sufriendo deterioros progresivos con el paso del mismo, se ven obligados a producir nuevos individuos con el fin de perpetuar la especie (Kimball 1984).

La manera de **perpetuar** la especie es la reproducción, que por diferentes medios, produce nuevas generaciones durante una parte del ciclo vital que rige su desarrollo y su tiempo de vida.

Antes de comenzar a describir los ciclos biológicos de los vegetales, es necesario conocer las diferentes formas de reproducción que se presentan en las plantas.

Reproducción asexual

Es aquella en la cual interviene un solo progenitor y no se producen gametos.

Existen dos formas de reproducción asexual: la **reproducción vegetativa** y la **reproducción asexual** propiamente dicha. Las diferencias entre ambas formas son:

Reproducción vegetativa. En la reproducción vegetativa se regenera un nuevo individuo a partir de un fragmento del organismo parental. Existen diversas formas de reproducción vegetativa, las principales son:

- *Bipartición:* Es la forma de reproducción vegetativa más simple. La **bipartición** consiste en la generación de dos células hijas a partir de una célula madre, que duplica su material genético y mediante el proceso de **mitosis** (ver la sección de *División celular*). El proceso más importante en la bipartición es la duplicación del material genético, que se distribuye equitativamente en ambas células hijas (excepto algunos casos de anormalidades en la división) y luego las células hijas regeneran las estructuras

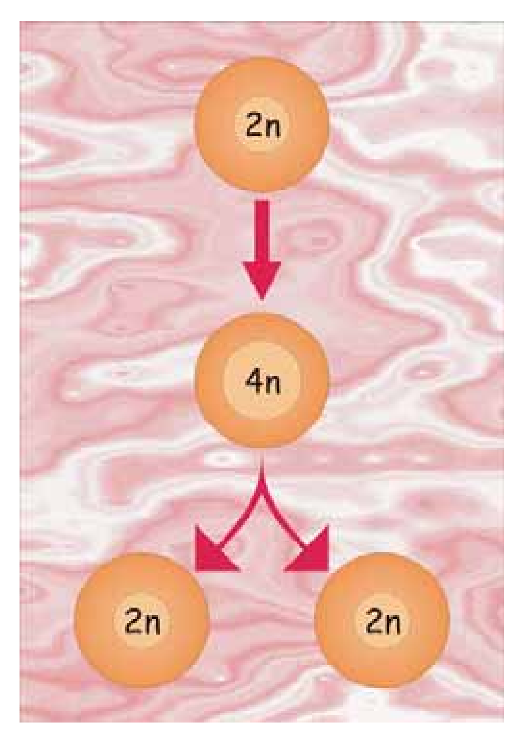


Fig. 7–1: Esquema que ilustra la bipartición de una célula diploide, la cual duplica el material genético para producir dos células hijas también diploides.

que faltan (es posible también, un reparto erróneo de los organelos de la célula madre, dejando a una de las células en desventaja por la escasez de los mismos) (Fig. 7–1).

- *Estado palmela:* Ocurre en organismos flagelados que por un lapso de tiempo pierden los flagelos y se envuelven en una masa muscilaginosa mientras dura el proceso reproductivo (normalmente por bipartición), para luego regenerar el flagelo.
- *Gemación:* Es un proceso en el cual la célula madre se divide de manera desigual dando origen a dos individuos hijos de diferente tamaño y capacidad metabólica. Es común ver que los organismos que se reproducen por gemación viven unidos en pequeñas agrupaciones, pudiendo o no estar relacionados entre ellos (Fig. 7–2).
- *Aquinetos:* Los **aquinetos** son células características de las algas cianófitas. Estas células contienen una gran cantidad de sustancias de reserva en su interior y son capaces de regenerar otro individuo, solamente en condiciones adversas.
- *Hormogonios:* También característica de las algas cianófitas. Los **hormogonios** son partes que se separan del tricoma (conjunto de células agrupadas en un filamento recubierto por una vaina) para formar un nuevo individuo.
- *Tricomas cortos:* Esta forma de reproducción es muy parecida a la reproducción por hormogonios, pero en este caso la vaina que recubre al tricoma está ausente como por ejemplo, en la familia *Oscillatoriaceae* de las algas cianófitas.
- *Talos adventivos:* Este tipo de reproducción ocurre cuando se separan fragmentos del **talo** para regenerar un nuevo individuo, como por ejemplo en los líquenes y hepáticas foliosas.
- *Brotes o bulbillos:* Esta forma es parecida a la de talos adventivos, pero es posible observarla también en plantas vasculares (gimnospermas y angiospermas). Los **brotes** son fragmentos del organismo adulto, que –bajo ciertas condiciones ambientales– reproducen un a un nuevo individuo. Esta forma de reproducción vegetativa se conoce vulgarmente como la reproducción por *gajos*, como en el caso de las rosas. También se puede apreciar este fenómeno en los estolones de frutilla, que reproducen una nueva planta a partir de un pequeño brote de la planta original.

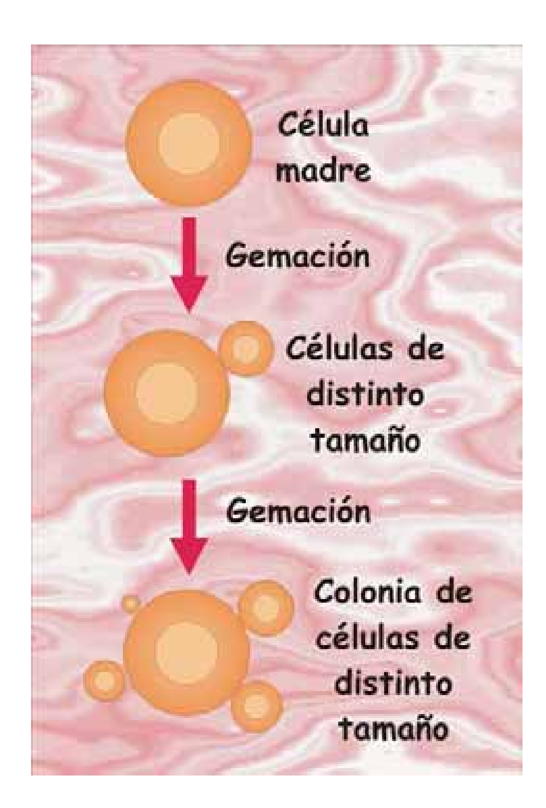


Fig. 7–2: Esquema que ilustra la formación de una colonia de células mediante el proceso de gemación.

Reproducción asexual. La reproducción asexual propiamente dicha, comprende necesariamente la formación de **esporas**. Las esporas son características de la mayoría de las plantas no vasculares (como los musgos y helechos) y están completamente ausentes en las plantas superiores.

Una espora es una célula reproductiva que contiene todos los elementos necesarios para regenerar a un nuevo individuo. El protoplasto de la célula madre es liberado para formar esporas, las cuales desarrollan por medio de numerosas divisiones y dan origen a un nuevo organismo (Villee et al. 1992).

Las esporas pueden ser de tres tipos:

- *Zooesporas (planoesporas):* Son esporas flageladas (pueden tener uno o más flagelos), por lo tanto son esporas móviles y gracias a esa característica normalmente se presentan en organismos vegetales acuáticos donde la movilidad y la dispersión se dan gracias al flagelo.
- *Aplanoesporas:* Son aquellas que no presentan flagelos y no son esporas móviles. Este tipo de esporas normalmente se presenta en plantas terrestres, donde la dispersión se da por diferentes vectores.

- *Autoesporas:* Son aplanoesporas similares a la célula madre desde el primer momento.

Reproducción sexual

En la reproducción sexual, intervienen generalmente dos individuos y existe necesariamente la formación de gametos. La reproducción sexual se da por medio de la unificación de dos núcleos haploides –y en la mayoría de los casos también por la unión del plasma– de dos organismos de la misma especie.

Las células sexuales se denominan **gametos** y son originadas en las estructuras sexuales de los organismos, mediante el proceso de **meiosis** (ver sección de *División celular*) y por lo tanto, la carga genética que posee cada gameto es haploide. De la unión de los gametos, resulta el huevo o **cigoto** y dado que los gametos son haploides, el cigoto es diploide, restaurando así la cantidad de carga genética de los organismos productores de gametos. En algunos organismos, la meiosis produce **meioesporas** o **meiósporas** las cuales son producidas por medio de una reducción genética en la célula madre (Kimball 1984).

Existen tres tipos de reproducción sexual, de acuerdo con la forma y movilidad de los gametos:

- *Isogamia:* Es el proceso reproductivo en el cual ambos gametos son iguales, tanto en forma y tamaño como en movilidad. Usualmente se presenta en formas primitivas. Dado que ambos gametos son iguales, es muy subjetivo el denominar a uno gameto femenino y a otro gameto masculino, por lo cual se denominan simplemente gametos + y –. Este tipo de gametos se denominan **isogametos**.
- *Anisogamia:* Es el proceso reproductivo en el cual los gametos son desiguales en tamaño, forma y movilidad. Estos gametos se denominan **anisogametos**.
- *Oogamia:* Es una forma de reproducción sexual parecida a la anisogamia. En la oogamia existe un único gameto femenino inmóvil de gran tamaño y muchos gametos masculinos móviles pequeños, de los cuales uno sólo va a fecundar al gameto femenino. Los gametos femeninos se denominan oosporas u oosferas, en caso de plantas no vasculares y óvulos para las plantas vasculares. Los gametos masculinos se denominan espermatozoides o anterozoides, o granos de polen en plantas superiores.

La **gametangiogamia** se da cuando uno o ambos gametos se encuentra protegido por una envoltura estéril de células. Puede presentarse junto con los casos anteriores.

Finalmente, existen tres formas especiales de reproducción sexual, que son:

- *Autogamia o automixis:* Se da cuando los gametos de la misma célula se fusionan para dar origen a un cigoto diploide.
- *Anfimixis:* Se da cuando dos gametos de dos células distintas se fusionan para formar el cigoto diploide.
- *Apomixis:* Es un tipo especial de reproducción –no sexual– donde se forman auxoesporas de manera asexual.

División celular

La división celular es el proceso fundamental por el cual se multiplican las células y, gracias a este proceso, se dan el desarrollo, el crecimiento y la reproducción. Los procesos de división celular son importantes porque gracias a ellos se transmiten las características genéticas de generación en generación (Villee et al. 1992).

Existen dos formas de división celular, la **mitosis** y la **meiosis**. En la primera forma, se mantiene la carga genética en las células hijas; en cambio, en la segunda, la carga genética se reduce a la mitad.

Mitosis

La mitosis es el proceso de división nuclear por el cual una célula madre diploide da origen a dos células hijas diploides. Este proceso se da en todas las regiones de los organismos vegetales excepto en los órganos reproductivos.

La mitosis se compone de un conjunto de fases por medio de las cuales se duplica el material genético y se divide la célula (Fig. 7–3):

Interfase. Esta fase abarca la mayor parte del tiempo de vida de la célula. Durante la **interfase** se producen y acumulan nutrientes (sustancias de reserva) y energía; también se duplica el material genético (de 2n a 4n). La interfase se compone de tres estadios fundamentales:

- *G_1:* En el estadio G_1 se presenta una gran actividad metabólica, especialmente en cuanto a síntesis de proteínas.
- *S:* El estadio S tiene una duración aproximada de seis a ocho horas. Durante este tiempo se produce la duplicación del material genético y la síntesis de **ARN** mensajero es continua para favorecer a la duplicación del **ADN**.
- *G_2:* El estadio final, denominado G_2, dura entre cuatro a cinco horas y constituye el periodo premitótico (cuando se ha duplicado el material genético y hay suficientes nutrientes para empezar con la división).

Profase. La **profase** es la primera etapa de la división mitótica. En esta fase desaparece la membrana nuclear y los cromosomas se condensan acortándose y haciéndose más gruesos, y por lo tanto más visibles (especialmente gracias a la cromatina). Los cromosomas se aparean con sus homólogos (iguales) por medio de un conjunto de proteína denominado **centrómero**. Usualmente la profase dura de una a dos horas.

Metafase. En la **metafase**, los cromosomas se unen por medio de un eje de microtúbulos (las células vegetales carecen de centriolos) constituyendo el huso acromático; al centro de éste se encuentra la placa ecuatorial formada por una fila ordenada de cromosomas. Esta fase transcurre más rápidamente que las anteriores, dado que dura entre cinco y quince minutos.

Anafase. Durante la **anafase** se produce la separación longitudinal de las parejas de cromosomas, quedando éstos unidos únicamente por los extremos. Posteriormente, se produce una migración de los cromosomas ya separados hacia los polos de la célula. Esta fase puede durar de dos a diez minutos.

Telofase. Durante **telofase** las condiciones de la célula vuelven a ser normales: desaparece el huso acromático, los cromosomas regresan a su estado inicial y se regenera la membrana nuclear. Este proceso toma entre diez y treinta minutos.

Citocinesis. La **citocinesis** es una etapa que si bien no forma parte de la mitosis porque no interviene en la división nuclear, es importante y se la incluye junto a las demás fases porque en ella se produce la separación de las dos células hijas. En el caso de las células vegetales, la división del citoplasma se da

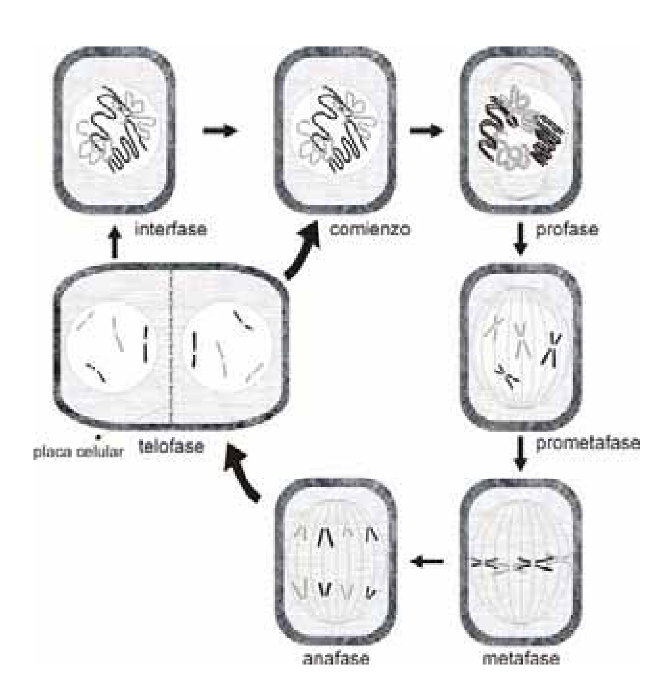


Fig. 7–3: Proceso de división por mitosis. En el esquema se muestra el estado de los cromosomas en las distintas fases de este proceso.

por la formación del fragmoplasto o placa celular. Esta placa celular se compone de un sistema de fibrillas (compuestas por microtúbulos) en forma de barril que se forman entre los dos núcleos hijos. Pequeñas gotas (provenientes del aparato de Golgi) a través del plano horizontal se van fusionando con la placa celular, la cual crece hasta restaurar la pared celular, y una vez terminada de formar la nueva pared, se separan las dos células hijas. Es posible que las vesículas o gotas provenientes del aparato de Golgi contengan en su interior sustancias pécticas que conformarán la lámina media, mientras que las membranas de las mismas conformarán la membrana citoplasmática a ambos lados de la placa.

La formación de la nueva pared empieza por la lámina media y continúa por las capas de celulosa a ambos lados de ella. Conforme va creciendo la nueva célula, la pared original de la célula madre se estira y se rompe.

La mitosis es un proceso importante, porque se encarga de que cada célula hija reciba el mismo número de cromosomas que la célula madre; consiguientemente, si durante la mitosis se produce una distribución errónea del material genético se producen anomalías o incluso la muerte de la célula (Villee et al. 1992). También es posible que se

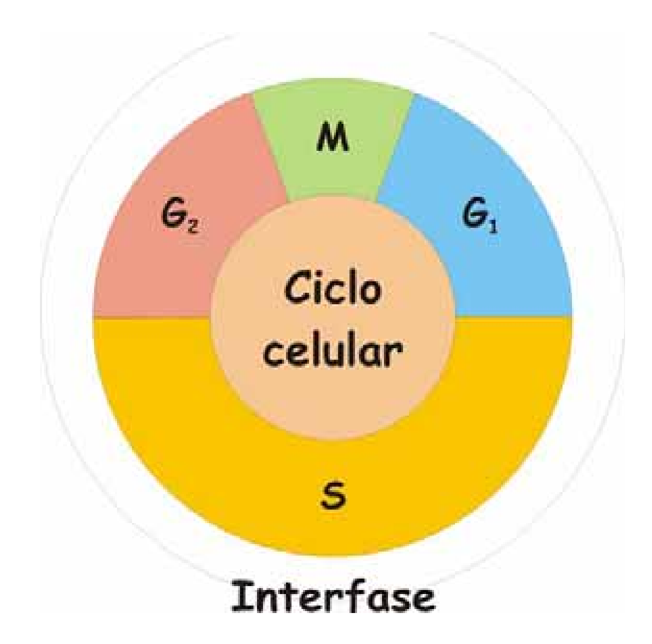


Fig. 7–4: Fases del ciclo celular tipo.

produzca una distribución dispar de los organelos de la célula madre. En este caso, si la célula carece de algunos organelos muere o se encuentra en desventaja (Kimball 1984).

Todas las células cumplen con un ciclo celular estricto (Fig. 7–4) que contempla una fase de crecimiento (interfase) y una fase de reproducción.

Meiosis

La meiosis es el proceso de división nuclear por el cual una célula madre diploide da origen a cuatro células hijas haploides, por medio de dos divisiones consecutivas, en un proceso similar al de la mitosis. Este proceso se da únicamente en los órganos reproductores de las plantas, para la formación de esporas y gametos.

La meiosis también se compone de una secuencia de fases –similares a la mitosis– mediante las cuales se produce una duplicación del material genético y dos divisiones sucesivas (Fig. 7–5):

Interfase. Como en la mitosis, es una etapa de acumulación de nutrientes y energía, al igual que la duplicación de la carga genética. Este proceso puede durar de algunas horas a varios días.

A la interfase meiótica, se suceden dos divisiones consecutivas, denominadas Meiosis I y Meiosis II.

Meiosis I. Esta primera división meiótica es muy parecida a la mitosis, también llamada **división reduccional** porque en ella se lleva a cabo la repartición de la carga genética. Se compone de cuatro fases:

Profase I. Es parecida a la profase de la mitosis. Durante esta fase, desaparece la membrana nuclear y los cromosomas se condensan. En la primera profase meiótica ocurre la subfase o intercambio de genes. Este proceso de intercambio de genes está constituido por cinco etapas:

- *Leptonema:* En esta etapa se da la búsqueda y reunión de cromosomas homólogos.
- *Cigonema:* Durante esta etapa se produce la sinapsis cromosómica, que consiste en la unión de puntos específicos a lo largo de los cromosomas.
- *Paquinema:* También llamada “crossing over”. Durante esta etapa los cromosomas homólogos unidos (por medio del centrómero y la sinapsis) se unen con los cromosomas similares formando así el ramillete cromosómico y posteriormente se enroscan unos con otros.
- *Diplonema:* En esta etapa se produce el intercambio genético, por medio de la transferencia recíproca de fracciones de ADN de los cromosomas entrecruzados.
- *Diacinesis:* Es la etapa final de la primera profase, donde se separan las tétradas de cromosomas.

Metafase I. Se produce la formación de la placa ecuatorial y el huso acromático, de manera similar que en la mitosis.

Anafase I. Se produce la separación de los cromosomas homólogos y la migración de los mismos hacia los polos de la célula. La diferencia de este caso con la mitosis, es clave para la reducción de la carga genética. En la mitosis se reparte a cada célula un juego completo de cromátidas, mientras que en esta etapa de la meiosis se reparten los cromosomas homólogos en juegos dobles, es decir, cada célula recibe la mitad del juego de cromosomas, en un juego de dos copias.

Telofase I y citocinesis. El material genético ha sido separado y la célula se divide en dos por medio del fragmoplasto, al igual que en la mitosis.

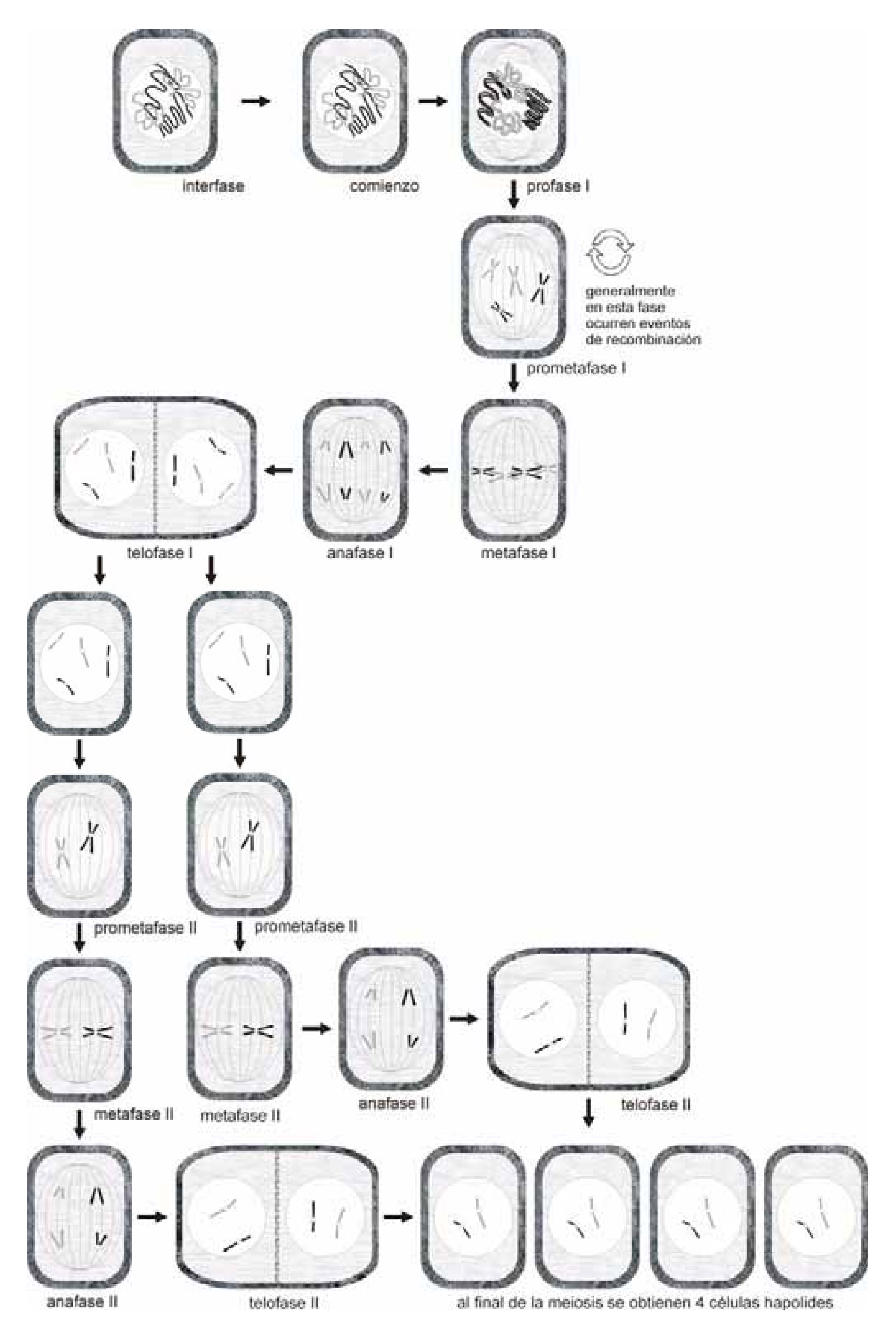


Fig. 7–5: Proceso de división por meiosis. En el esquema se muestra el estado de los cromosomas en las distintas fases de este proceso.

Meiosis II. En la segunda división meiótica, ya no se produce la duplicación del material genético, simplemente se reduce a la mitad el existente, y por ello se denomina **división ecuacional**. Esta división consta de las siguientes fases:

Interfase. En esta fase intermedia entre ambas divisiones, simplemente se produce un reordenamiento del material genético.

Profase II. Se da como una profase normal, con la reabsorción de la membrana nuclear y la condensación de los cromosomas.

Metafase II. Se forma la placa ecuatorial y el huso acromático con el material genético diploide en cada una de las nuevas células.

Anafase II. Se produce la división longitudinal y la migración polar de los cromosomas en porciones haploides.

Telofase II y citocinesis. Retornan las condiciones normales de la célula, se regenera la membrana nuclear y los cromosomas vuelven al estado inicial. Gracias a la formación del fragmoplasto se separan las cuatro nuevas células haploides.

La importancia de la meiosis, radica en el proceso de gametogénesis, ya que es necesario que los gametos sean haploides y contengan la mitad de la información genética del individuo (Kimball 1984).

DIFERENCIACIÓN CELULAR Y DESARROLLO

Todos los organismos pluricelulares, inicialmente están conformados por una célula inicial o cigoto, la cual no está diferenciada, y se divide rápidamente para dar lugar a un conjunto de células indiferenciadas, que todavía no cumplen una función específica.

Posteriormente, las células de este conjunto se van especializando y al dividirse van originando paulatinamente los diferentes tejidos y órganos, de acuerdo al tipo celular en el que se diferencian.

En un principio todas las células son iguales y poseen la misma carga genética. En este estadio se dice que las células son **totipotenciales**, puesto que son capaces de originar cualquiera de los tipos celulares conocidos (células parenquimáticas, células de tejido vascular, células del tejido de sostén, etc.). Estas células indiferenciadas se encuentran en los meristemas de las plantas vasculares (desde los helechos), y se hallan en las regiones de crecimiento de las plantas no vasculares.

Por procesos todavía no conocidos del todo, las célula indiferenciadas van sufriendo un proceso de **diferenciación,** en el cual se da una “selección” en la síntesis de proteínas, limitando a la célula y sus futuras generaciones a producir solamente una parte de todas las posibles moléculas que pueden codificar sus ácidos nucleicos. Una vez que se ha dado este proceso, podemos hablar de células **diferenciadas**, las cuales poseen funciones específicas dentro del organismo (Smith & Wood 1997).

En las plantas se distinguen dos fenómenos fundamentales: el **crecimiento** y el **desarrollo**. El crecimiento es un fenómeno de incremento de la biomasa, por los procesos de división celular y síntesis de proteínas, que aumentan el tamaño del organismo. El desarrollo, en cambio, se refiere a la diferenciación que sufren las estructuras producidas durante el crecimiento para producir un organismo adulto. Ambos procesos son irreversibles y están muy relacionados con el ciclo vital de los organismos.

Tanto el crecimiento como el desarrollo están controlados por moléculas químicas de origen biológico llamadas **reguladores de crecimiento**. Los reguladores de crecimiento son “mensajeros” químicos, que se encargan de transmitir señales de activación o inhibición de los diferentes procesos. Los principales reguladores de crecimiento vegetales son la **auxina**, la **giberelina** y las **citoquininas**. Estos reguladores trabajan juntos, y con la ayuda de otros mensajeros químicos como el etileno que se encargan de regular el crecimiento de la planta según las necesidades del organismo y las condiciones del medio (Azcon–Bieto & Talón 1993).

En las plantas el desarrollo empieza en una etapa temprana, cuando el embrión se divide para formar la semilla. Esta semilla permanece en reposo (latencia) hasta que encuentre las condiciones necesarias para germinar (estas condiciones son muy variables, y dependen del tipo de planta). Una vez que la semilla ha encontrado condiciones óptimas de desarrollo empieza a movilizar sus reservas energéticas y a romper las cubiertas que protegen al embrión. El paso clave en esta fase es la **imbibición**,

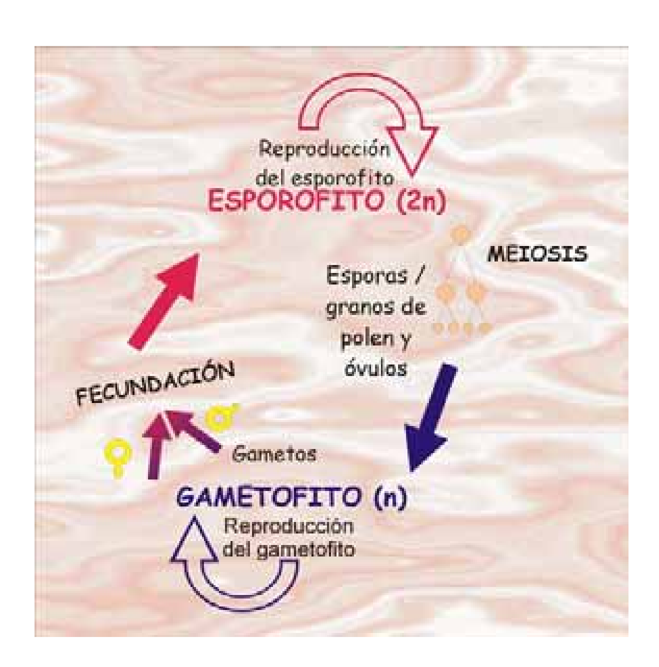


Fig. 7–6: Ciclo vital típico de un organismo vegetal que presenta alternancia de generaciones.

proceso por el cual los coloides de las células absorben agua y activan los procesos metabólicos celulares. Una vez que el embrión es metabólicamente activo, entra en un proceso de divisiones celulares consecutivas hasta formar los diferentes meristemos, los cuales darán origen a los demás tejidos más adelante (Smith & Wood 1997).

Se ha visto que en las plantas ocurre un fenómeno interesante: si se toma una porción de tejido vegetal, y se lo cultiva en un medio estéril con las condiciones óptimas, este fragmento reproduce nuevamente una planta completa. Este experimento se hizo inicialmente con una porción de la raíz de *Daucus carota* (zanahoria), y demostró la capacidad de regeneración y la totipotencialidad de las células vegetales (Smith & Wood 1997).

Esta característica de regeneración en las plantas a llevado a desarrollar una técnica muy interesante y útil que es el **cultivo de tejidos vegetales**, que consiste en introducir en un medio de cultivo una porción de tejido, la cual desarrollará una planta completa, que es un clon genético de la planta madre. Mediante esta técnica se pueden preservar especies *in vitro*, se pueden generar grandes cantidades de plantines y se pueden realizar muchas investigaciones, especialmente en el campo de la fisiología.

Alternancia de generaciones: las fases gametofítica y esporofítica

Se define como **alternancia de generaciones** al ciclo vital característico de los organismos vegetales, en el cual pasan una parte del tiempo en estado haploide (fase gametofítica) y otra parte en estado diploide (fase esporofítica) (Villee et al. 1992).

La fase gametofítica siempre es haploide, porque en ella se producen los gametos (de ahí viene el nombre de fase gametofítica). En la mayoría de los casos, la fase gametofítica es poco duradera y reducida, pero en algunos casos como en las briofitas, el gametofito es la fase dominante y el esporofito es un parásito de ella.

La fase esporofítica es por lo general diploide, porque en ella se producen las esporas (usualmente se trata de meioesporas o esporas que sufren una meiosis). Normalmente ésta es la fase dominante por su mayor tiempo de vida y su mayor tamaño, pero a veces se reduce a un parásito del gametofito y se expresa como un pequeño esporangio que crece en alguna parte del cuerpo del huésped.

Existen casos excepcionales donde se puede presentar un esporofito haploide como en las algas pardas. También pueden presentarse ampliaciones o reducciones de los ciclos vitales, como se verá más adelante.

La Figura 7–6 representa un ciclo vital típico con alternancia de generaciones para todos los organismos vegetales. Sin embargo, algunos grupos reducidos pueden presentar ciclos más simples o más complejos, con presencia de diversas modificaciones.

Durante el proceso del ciclo vital de cada organismo, existe una **fase de desarrollo** y una **fase reproductiva**. En la fase de desarrollo se produce la germinación de la espora o la semilla, a la cual sigue la generación de las estructuras vegetativas y reproductivas tanto, femeninas como masculinas. Cuando el organismo ha llegado al estado adulto, finaliza la fase de desarrollo y da origen a la fase reproductiva, en la cual se producen los gametos y la fecundación de los mismos para dar origen a las esporas o las semillas, repitiendo de esta manera el ciclo de fases (Fig. 7–7).

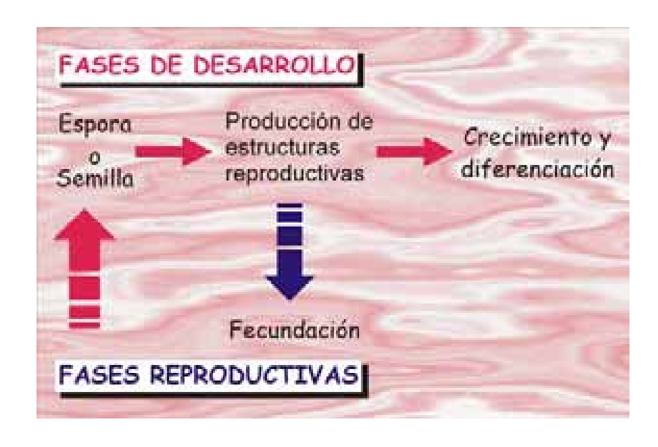


Fig. 7–7: Ciclo de fases, donde se esquematizan las fases de desarrollo, las fases reproductivas y la relación que existen entre ellas, en función a los acontecimientos de crecimiento y fecundación.

Los gametos masculinos se caracterizan por encontrarse en un elevado número, lo cual produce un elevado número de fecundaciones. Los objetivos de los gametos masculinos con cuantitativos. En cambio, los gametos femeninos se encuentran en menor número que los masculinos, porque aseguran la calidad de gametos y por ende la calidad de las fecundaciones, a fin de asegurar la descendencia. Los objetivos de los gametos femeninos son cualitativos.

Es importante que los gametos masculinos sean cuantitativos y los femeninos cualitativos, porque dado que los femeninos se encuentran en menor número y no son móviles, están expuestos al azar de los gametos masculinos que deben viajar hasta poder encontrarlos (expuestos al derroche de los mismos). Por lo tanto es vital para la sobrevivencia de las especies que los gametos masculinos se encuentren en mayor número que los femeninos para evitar un derroche de estos últimos que son cualitativos.

Esta estrategia de fecundación es un proceso casi universal en todos los organismos eucariotas con reproducción sexual, ya que de esta manera se asegura la perpetuación de la especie en el tiempo.

REINOS DE INTERÉS BOTÁNICO

Los diferentes grupos vegetales se distinguen por sus diferencias en cuanto a morfología, fisiología y reproducción. Antiguamente, todos los organismos no animales fueron agrupados en el reino "vegetal", pero las diferencias entre ellos son múltiples y significativas, por lo tanto la necesidad de separar al reino "vegetal" en grupos mejor distribuidos era imperiosa. Debido a esto, se agruparon a todos estos organismos en cuatro reinos:

Reino Monera

En este Reino se encuentran todas las bacterias, bacterias fotosintéticas y cianobacterias (algas cianófitas), así como las arqueobacterias.

Reino Protista

Se consideran protistas a los Oomicota, Chytridiomicota, Acrasiomicota, Mixomicota, los crisófitos, los euglenófitos, los pirrófitos, los feófitos, los clorófitos, los rodófitos y los charófitos. Tanto el Reino Protista como el Reino Monera, contienen individuos clasificados antiguamente como plantas y/o como animales, debido a que presentan características de ambos grupos.

Reino Fungi

En el reino Fungi se encuentran los hongos y los líquenes. Antiguamente se clasificaron a los hongos junto con las plantas, pero posteriores estudios revelaron que son tan distintos de las plantas como las plantas lo son de los animales (Raven et al. 1991). Por tal razón, se los clasificó dentro de un nuevo reino, en el cual también se incluyeron a los líquenes por su carácter fúngico predominante.

Reino Plantae

Aquí están todos los organismos vegetales que quedaron del antiguo reino vegetal: las plantas más evolucionadas. En este Reino se encuentran las briofitas, las pteridofitas, las gimnospermas y las angiospermas.

Sin embargo, las características de los individuos agrupados en los cuatro reinos son aún muy diversas, por lo cual se han separado diferentes grupos vegetales con características similares, los cuales se verán detalladamente a continuación.

ALGAS

Las algas son el grupo vegetal más antiguo y simple. El grupo de las algas comprende a los cianófitos,

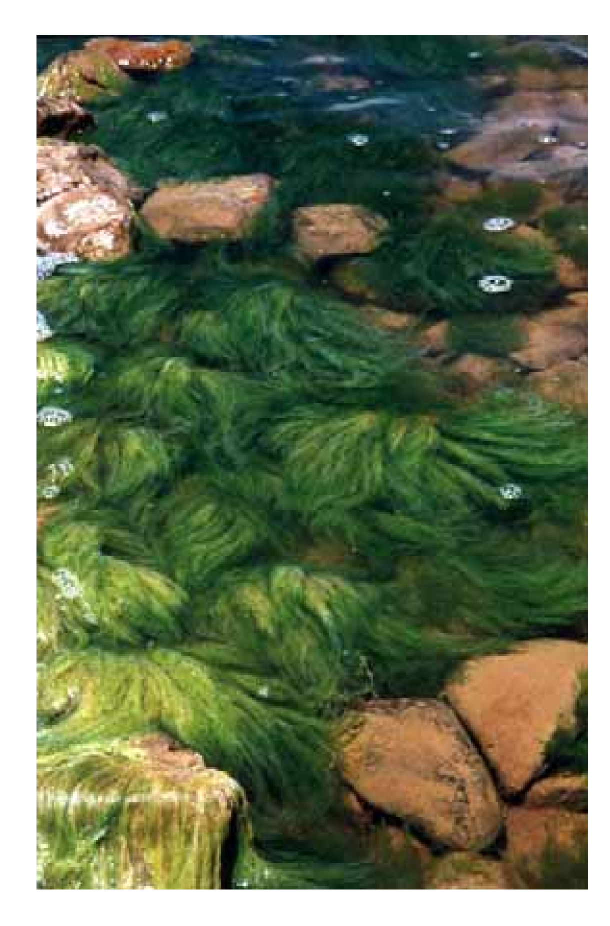


Fig. 7–8: Algas clorófitas creciendo a orillas del lago Titikaka, en el altiplano boliviano.

euglenófitos, pirrófitos, crisófitos, clorófitos, charófitos, feófitos y rodófitos (Fig. 7–8).

Las algas son un grupo muy heterogéneo de organismos fotosintéticos y la característica común de este grupo es la presencia de clorofila a. El nivel de organización algal va desde protófito hasta talófito, ya que se presentan todos los niveles de organización (monadal, palmeloide, rizopodal, capsal, cocal, trical, taloso, sifonal, tetrasporal, pseudoparenquimal y tricotálico).

La gran mayoría de las algas presenta una pared celular compuesta por celulosa (Fig. 7–9), aunque existen excepciones menores que presentan paredes de mucopéptidos o sílice; en algunos casos la pared celular puede estar ausente (Pinto 1997).

Las algas están presentes en casi todos los ambientes acuáticos del mundo, ya sean estos marinos o continentales. La simplicidad de su estructura y la flexibilidad de su metabolismo las hace muy comunes en todos los lugares donde exista un poco de humedad constante. Incluso aparecen en lugares insospechados como los tubos de refrigeración de los laboratorios químicos, por donde circula agua permanentemente. Los diferentes individuos de este grupo están muy bien adaptados a una variedad de climas, existen algas que pueden vivir a temperaturas extremas, a pH ácidos o alcalinos, y a diferentes profundidades, aprovechando las diferentes longitudes de onda de la luz con varios pigmentos.

La mayor parte del oxígeno que respiramos diariamente proviene de la fotosíntesis de las algas marinas, ya que éstas están distribuidas en las tres cuartas partes del planeta.

Cianófitos

Los cianófitos o algas verde–azules son los únicos individuos del grupo que no poseen un núcleo verdadero (son procariotas). Este grupo también es estudiado junto a las bacterias fotosintéticas, pero se diferencia del resto de ellas por presentar clorofila a, como el resto de las algas (esta es una característica fundamental para la agrupación de los vegetales).

Estas algas microscópicas se observan comúnmente en las peceras y en pequeños charcos de agua, como masas gelatinosas de color azul oscuro a negro.

La principal ventaja fisiológica y ecológica de estas algas es la presencia de las ficobilinas. Las ficobilinas son pigmentos fotosintéticos que absorben longitudes de onda diferentes a las de la clorofila. Se diferencian dos principales ficobilinas que son la ficocianina y la ficoeritrina, que confieren

Glucosa (unidad estructural)

La celulosa se compone de largas cadenas de glucosa unidas por enlaces tipo beta-glucosídicos

Fig. 7–9: Estructura molecular de la celulosa. La celulosa es un polisacárido que está formado por miles de residuos de glucosa unidos por medio de enlaces β–glucosídicos.

colores azul y rojo respectivamente (reflejan estas longitudes de onda). La presencia de estos pigmentos es ecológicamente importante, pues permite al organismo aprovechar longitudes de onda capaces de penetrar a mayor profundidad, la cuales no son aprovechables por las clorofilas.

Euglenófitos

Los euglenófitos son organismos eucariotas unicelulares muy diversos, con un metabolismo muy especial. Se caracterizan por ser móviles, se desplazan por medio de un flagelo terminal y son sensibles a los cambios de luz.

Estos organismos poseen características muy especiales, como la producción de paramilo, un carbohidrato similar al almidón, el cual sirve como reserva energética.

Puesto que estos organismos tienen tanto características "vegetales" como "animales", son estudiados tanto por la botánica como por la zoología.

Pirrófitos

Los pirrófitos son algas unicelulares flageladas, que pueden estar recubiertas por "caparazones" de celulosa. Entre las dos partes del "caparazón" presentan una costura característica, la cual es de utilidad para la identificación taxonómica.

Estas algas son parte del fitoplancton en muchos ecosistemas acuáticos, pero necesitan vitaminas como factores de crecimiento. Algunas son parásitas y otras son capaces de formar simbiosis con otros organismos (como los celenterados). Estas algas son las responsables de la marea roja.

Crisófitos

Los crisófitos o algas doradas son un grupo de algas unicelulares muy comunes en la mayoría de los ambientes acuáticos. Las más representativas de este grupo son las diatomeas por su abundancia y los múltiples usos que tienen.

Pueden ser de vida libre o estar asociados en colonias pluricelulares, y existen muchas formas móviles, que presentan uno o más flagelos.

Las diatomeas se caracterizan por presentar una cubierta externa de sílice. Esta cubierta puede tener diferentes formas que van desde la circular (similar a una caja de Petri), hasta formas alargadas, a manera de bastón. Son muy comunes en el plancton y el bentos. Son las algas más variadas y distribuidas de los mares, y son un importante productor primario de oxígeno.

De los residuos de estas algas (las cubiertas de sílice) se extrae la **tierra de diatomita**, que se usa para estabilizar explosivos, como constituyente primario de rocas para afilar y como un insecticida eficiente sin repercusiones ambientales.

Clorófitos

Los clorófitos o algas verdes, son los organismos más conocidos y diversos de entre las algas. Presentan todos los niveles de organización: van desde formas unicelulares hasta talos pluricelulares complejos.

Están ampliamente distribuidas en casi todos los ambientes acuáticos, y algunas son capaces de crecer en ambientes terrestres húmedos.

Son un productor primario de oxígeno importante, y tienen una diversidad de usos, muchas especies se usan como alimento en muchos países.

Charófitos

Los charófitos son algas pluricelulares que a simple vista pueden ser confundidas con plantas vasculares. Tienen una organización sencilla y se encuentran en aguas no muy profundas.

Morfológicamente se caracterizan por presentar un eje central con nudos muy marcados, alrededor de los cuales salen ramificaciones filiformes dispuestas helicoidalmente. Estas ramificaciones pueden tener las mismas características del eje central o presentar una morfología ligeramente diferente.

En este grupo la reproducción puede ser asexual o vegetativa, pero también existe reproducción sexual. Presentan un oogonio ovalado, situado por encima del anteridio. Ambas estructuras se ubican en los nudos.

Feófitos

Los feófitos o algas pardas, son muy comunes en los ambientes marinos. Bioquímicamente son muy parecidos a los crisófitos (algas doradas) y se caracterizan por carecer de almidón y clorofila b. Los feófitos más representativos son formas pluricelulares talosas, a manera de filamentos largos y duros. Algunas especies presentan estructuras de flotación que las mantienen cerca de la superficie.

Rodófitos

Los rodófitos son por lo general algas pluricelulares que tienen cierta semejanza bioquímica con los cianófitos, puesto que también presentan ficobilinas, lo cual les permite vivir a grandes profundidades y aprovechar otras longitudes de onda. Al fenómeno de regulación de pigmentos a diferentes profundidades se lo conoce como **adaptación cromática**.

Pueden crecer como organismos unicelulares o agrupados en filamentos de diferente morfología. La pared celular de este grupo es característica, puesto que presentan dos capas: una de celulosa y una de pectina por fuera.

Estas algas tienen diversos usos, algunas sirven como alimento, otras se usan para fines científicos, como el agar (un soporte inerte casi universal para cultivos bacterianos). También se utilizan a nivel industrial como estabilizadores y para dar consistencia a una amplia gama de productos alimenticios.

Ciclo vital

Las algas más primitivas carecen de un ciclo de vida y se reproducen por bipartición. Las algas más evolucionadas presentan un ciclo típico con alternancia de generaciones (ver Fig. 7–10)

Se caracterizan por la presencia de gametos + y –, y también zooesporas biflageladas. En ciertos grupos, se presentan ciclos de vida especiales, por ejemplo en un grupo las algas feófitas existe la presencia de un esporofito haploide; en el grupo de los *Fucophyceae*, el ciclo se ha reducido simplemente a la fase esporofítica. En algunas algas rodófitas se presenta un ciclo trigenético, con la presencia de un gametofito y dos esporófitos (el carpoesporofito y el tetraesporofito).

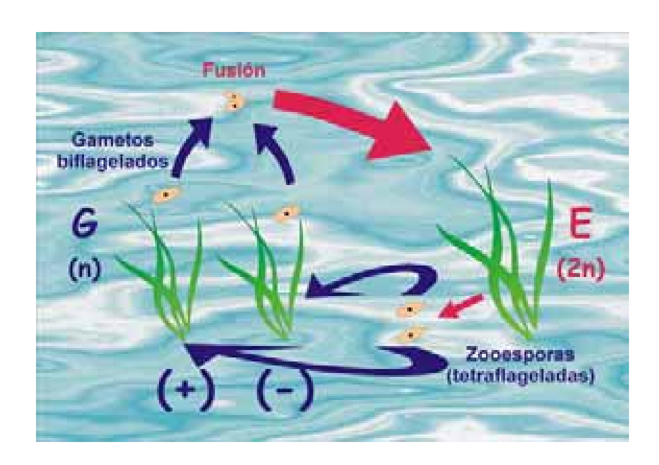


Fig. 7–10: Ciclo vital característico de las algas. Se observan las fases gametofítica (G) y esporofítica (E), así como la producción de gametos biflagelados y esporas tetraflageladas.

HONGOS

Los hongos son un grupo muy diverso en cuanto a morfología, fisiología y reproducción (Fig. 7–11). Son organismos talosos que presentan una pared celular de quitina, lo cual les confiere una gran resistencia a todo tipo de factores abióticos y bióticos que puedan atacarlos. Los hongos no poseen clorofila, por lo tanto no pueden hacer fotosíntesis: son heterótrofos. Se caracterizan por no presentar células móviles en ninguna etapa del ciclo vital, y además no presentan ninguna etapa metabólicamente inactiva durante dicho ciclo. Otra característica importante de los hongos, y quizá la que les confiere la cualidad de estar presentes en todos los ambientes es la posibilidad de relacionar todas las partes del organismo con el entorno, con excepción de los cuerpos fructíferos, que están destinados exclusivamente a la reproducción.

Todos los hongos son saprófitos (se alimentan de materia en descomposición que ingieren por absorción). Algunos hongos son parásitos y otros son depredadores. Carecen de capas metabólicas inactivas, es decir, que todo el cuerpo es capaz de metabolizar y relacionarse con el entorno (excepto los cuerpos fructíferos).

Las hifas son filamentos de células fúngicas, el conjunto de hifas forma el micelio y el conjunto de micelos conforma el cuerpo del hongo.



Fig. 7–11: Los hongos basidiomycetes pueden tener formas muy diversas, como se observa en las dos especies de la fotografía.

Los hongos se dividen en tres grupos principales: los Myxomycota u hongos inferiores, los Zygomycetes y los Eumycota u hongos superiores. No se tiene un sistema de clasificación fijo para los Myxomycota, al sistemática de este grupo varía mucho de un autor a otro, en cambio la clasificación para los Eumycota es la única que se tiene definida para los hongos. La variabilidad morfológica en los hongos es tan grande, que muchas veces la mejor opción –e incluso la única opción real– es la clasificación genética.

Myxomycota

En este grupo se incluyen todos los hongos inferiores, que no presentan paredes celulares ni cuerpos fructíferos definidos. La ausencia de cuerpos fructíferos hace muy difícil la clasificación de estos organismos y da lugar a confusiones.

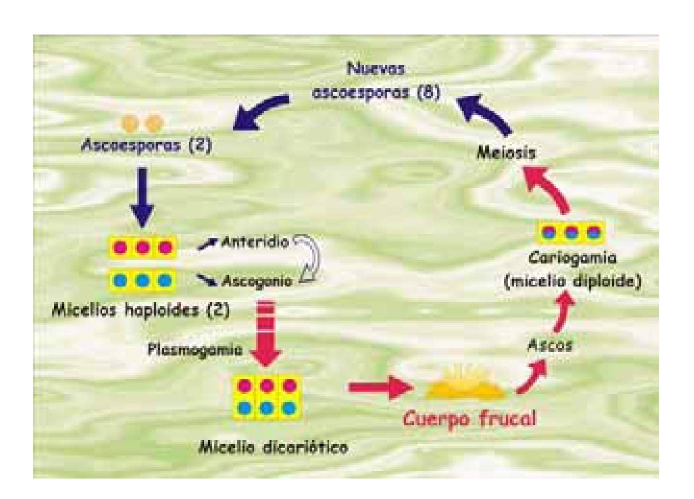


Fig. 7–12: Ciclo vital característico de un hongo ascomycete. Se observa la fase sexual y la somatogiamia.

Usualmente estos hongos son plasmodios poco definidos, capaces de reproducirse por esporas. Los hongos más conocidos de este grupo son los carbones y el Mildeu de la papa.

Zygomycetes

Son hongos que presentan paredes celulares de quitina, que forman esporas asexuales y esporas sexuales o cigoesporas. La cigoespora o cigoto se forma por la somatogamia de dos hifas.

Eumycota

Los hongos verdaderos (Eumycota) si presentan cuerpos fructíferos definidos, y gracias a ello se ha podido establecer un sistema de clasificación definido para este grupo. Se reconocen dos grupos principales: los ascomycetes y los basidiomycetes.

Ascomycetes. Estos hongos se caracterizan por la formación de un cuerpo fructífero denominado **asco**, en el cual se forman las ascoesporas, que son del tipo endosporas. El asco se forma de la fusión de dos individuos de diferente sexo, normalmente por isogamia.

Basidiomycetes. Estos son los hongos más conocidos por la forma característica del cuerpo fructífero, a manera de sombrero, llamado **basidio**. En estos hongos se forman basidioesporas, las cuales son del tipo exosporas. La parte vegetativa del hongo es el pie que sostiene al basidio, y puede presentar una cubierta muy delgada llamada velum.

Ciclo vital

El ciclo de vida de los hongos es característico (ver Fig. 7–12 y 7–14) y presenta **somatogamia**. Las esporas (meioesporas) reproducen micelios haploides.

En el caso de los ascomicetes (ver Fig. 7–12) cada micelio haploide genera estructuras reproductivas (un anteridio masculino y un ascogonio femenino) que por medio de **plasmogamia** (unión del protoplasma de ambas células) producen un cuerpo fructífero **dicariótico** (con dos núcleos separados). Posteriormente se produce la unión de la **cariogamia** (unión de los núcleos) y finalmente, se producen las esporas por meiosis.

En el caso de los basidiomycetes (ver Fig. 7–13), no se presenta la fase sexual. Las hifas haploides se unen primero por plasmogamia formando los cuerpos fructíferos, luego se produce la cariogamia y, por medio de meiosis, se producen las esporas.

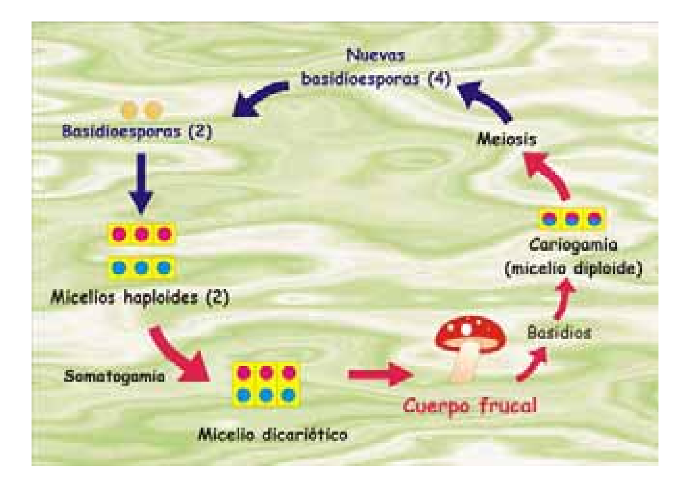


Fig. 7–13: Ciclo vital característico de un hongo basidiomycete. Se aprecia la somatogamia.

LÍQUENES

Los líquenes son el resultado de la simbiosis de un alga con un hongo. En esta simbiosis el hongo es dominante, y por ello los líquenes se clasifican dentro el reino Fungi (Fig. 7–14). Presentan una morfología y una fisiología muy diferente a la de los simbiontes por separado.

Los líquenes pueden vivir sobre cualquier tipo de superficie y bajo cualquier tipo de ambiente, por lo que son considerados pioneros. Son muy sensibles a la contaminación ambiental, porque no presentan estructuras de protección y excreción; son utilizados como bioindicadores.

Se distinguen tres tipos morfológicos de líquenes: los líquenes costrosos, los líquenes foliosos y los líquenes fruticosos. Los primeros se caracterizan por estar adheridos firmemente al sustrato (normalmente roca o corteza) con toda la superficie, y muchas veces se ven como manchas de pintura. El segundo tipo, en relación a su nombre, se caracteriza por presentar forma de hoja, se unen al sustrato solamente en puntos específicos (los que se unen en un solo punto se llaman líquenes Umbilicales). Finalmente, los líquenes fruticosos presentan un talo cilíndrico y ramas, algunos crecen hacia arriba y otros son pendulosos (crecen hacia abajo); el más conocido es *Usnea* sp. o "barbas de viejo", muy común creciendo sobre las ramas de los árboles.

El componente algal o **ficobionte** interviene en menos porcentaje y es el componente dominado. El ficobionte se encarga de hacer fotosíntesis y de proveer alimento al hongo. Mientras que el componente fúngico o **micobionte** interviene en mayor proporción y es el componente dominante. Pero a su vez es el componente dependiente, dado que al carecer de clorofila no puede hacer fotosíntesis y necesita del ficobionte para alimentarse. El micobionte se encarga de proporcionar el sustrato al alga.

Para la simbiosis, intervienen normalmente los hongos ascomicetes y muy rara vez los basidiomycetes.

Ciclo vital

El ciclo vital de los líquenes es muy similar al de los hongos (Fig. 7–15). La única diferencia con el ciclo de los hongos, es que el componente algal viaja junto con las esporas y cuando se encuentra un ambiente propicio, se produce el desarrollo y el proceso de liquenización.



Fig. 7–14: Líquenes foliosos y fruticosos creciendo sobre piedra.

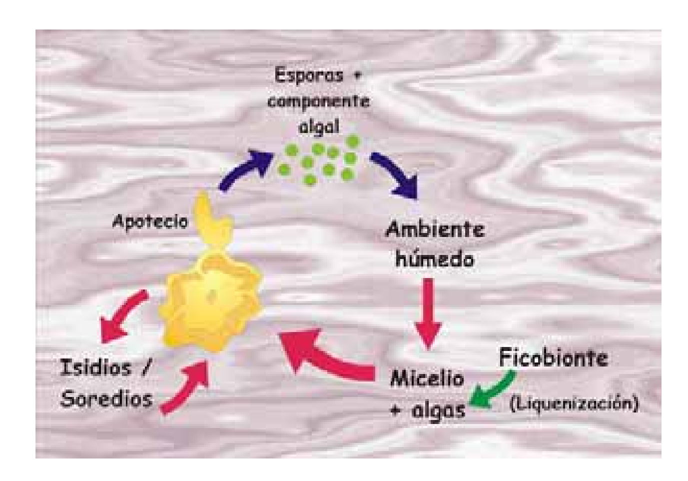


Fig. 7–15: Ciclo vital característico de un liquen, donde se observa tanto la reproducción vegetativa, como la reproducción por esporas y el proceso de liquenización.

Es muy importante que el ficobionte viaje junto con las esporas porque la simbiosis se da entre individuos específicos y la búsqueda del simbionte correcto sería virtualmente imposible. Los líquenes también poseen reproducción asexual de tipo vegetativa.

BRIÓFITOS

Los briófitos comprenden a los antóceros, las hepáticas y los musgos (Fig. 7–16). Si bien los briófitos tienen aspecto de plantas vasculares en muchos casos, son organismos muy simples que presentan una organización simple y carecen de un sistema de conducción y transporte interno.

Los briófitos son talosos y foliosos; habitan en lugares húmedos y no se conocen especies acuáticas. Carecen de estructuras de protección, por lo que también pueden usarse como bioindicadores de contaminación, al igual que los líquenes.



Fig. 7–16: Musgos verdes creciendo sobre roca, junto con algunos helechos.

Los **antóceros** son organismos pequeños, presentan un talo verde formado por células con un solo cloroplasto largo. Se caracterizan por que poseen un sistema hídrico de expulsión de las esporas, por medio de eláteres para asegurar la dispersión, el cual se abre en dos valvas.

Las **hepáticas** presentan un gametofito taloso y folioso que presenta lóbulos opuestos a manera de hojas, pero que no constituyen hojas verdaderas. Los esporangios se abren por cuatro valvas y presentan un mecanismo de dispersión de esporas por medio de eláteres.

Los **musgos** son el grupo más conocido de los briofitos, y se caracterizan por presentar un gametofito folioso en espiral, donde también se presentan estructuras a manera de hojas, compuestas por diferentes formas celulares. No presentan eláteres y la dispersión de las esporas se da por medio de un opérculo y los dientes del peristomo.

Ciclo vital

Presentan alternancia de generaciones. La generación dominante es el gametofito y el esporófito es simplemente un parásito de éste (Fig. 7–17).

Los briófitos son haploides la mayor parte de su vida. En determinadas condiciones, se generan las estructuras reproductivas en el talo (el lugar depende del individuo), produciendo un anteridio masculino y un arquegonio femenino, los cuales –luego de la fecundación– dan lugar a un cigoto que genera el esporofito.

Cuando el esporofito está maduro, libera meioesporas, las cuales dan origen a un brote o protonema (que en algunos casos puede estar ausente y producirse un desarrollo directo), el cual va creciendo y desarrollando, para dar origen a un nuevo gametofito.

PTERIDÓFITOS

Son organismos de transición entre las plantas no vasculares y las plantas vasculares, gracias a la presencia de traqueidas, que dan lugar a un primitivo

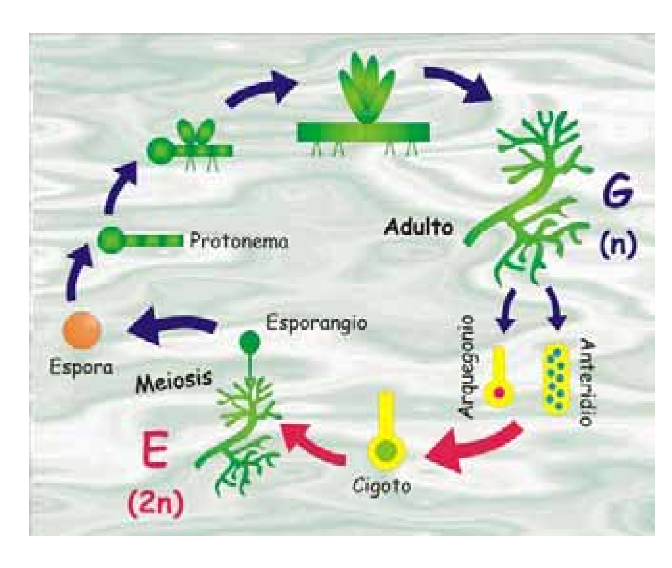


Fig. 7–17: Ciclo vital característico de los briófitos. En el esquema se aprecia el gametofito y el esporófito.

sistema de transporte interno (Fig. 7–18). Se distinguen helechos afines y helechos verdaderos, de acuerdo a su complejidad. Sin embargo muchos autores incluyen a los pteridófitos dentro las plantas vasculares.

Los pteridófitos son plantas transitorias entre el talo y el cormo, si bien no presentan tallo y hojas verdaderas, su nivel de organización está por encima del talo. La disposición morfológica normal, se compone de un eje principal central el cual se va ramificando y presenta numerosas foliaciones; a todo este conjunto se denomina frondes. Este grupo incluye a todos los helechos. Existen helechos arborescentes que pueden medir varios metros de altura, y la mayor diversidad de éstos está en las regiones tropicales y húmedas.



Fig. 7–18: Un helecho arborescente creciendo en las cercanías de la Estación Biológica de Tunquini, en los Yungas del departamento de La Paz.

En general, se dividen a los pteridófitos en dos grupos grandes de acuerdo al tipo de estructuras fotosintéticas (equivalentes a las hojas de las plantas con flor). Estas estructuras pueden ser micrófilas o megáfilas, siendo líneas evolutivamente independientes. Los psilotópsidos, los licopodios y los equisetos presentan micrófilas, y los polipodiópsidos presentan megáfilas.

Las micrófilas van desde estructuras muy sencillas llamadas enaciones, que son simplemente protuberancias del tallo, hasta estructuras filiformes mucho más desarrolladas. Las megáfilas son estructuras de mayor tamaño y en ellas se encuentran las esporas. Las megáfilas pueden ser simples o compuestas.

Todos los pteridófitos se reproducen por esporas haploides, que de acuerdo al grupo varían mucho en cuanto a forma y color.

Ciclo vital

El ciclo vital de este grupo se caracteriza por presentar tener el esporofito y el gametofito independientes. El esporofito es la fase dominante y puede vivir muchos años. Durante esta fase se producen las esporas en el envés de los frondes, varias veces al año, en estructuras denominadas soros. Cuando los soros maduran, se abren los esporangios y brotan las esporas (Cuerda 1993).

Las esporas dan origen a la fase gametofítica o **protalo**. En el protalo se producen las estructuras reproductivas (un anteridio masculino y un arquegonio femenino) que al fusionarse dan origen al esporofito juvenil; luego desarrolla en el esporofito adulto, cerrando el ciclo (Fig. 7–19) (Cuerda 1993).

En casos excepcionales, los esporangios están separados de las frondes y se desarrollan en un delgado tallo con hojas filiformes, denominado **esporofilo**.

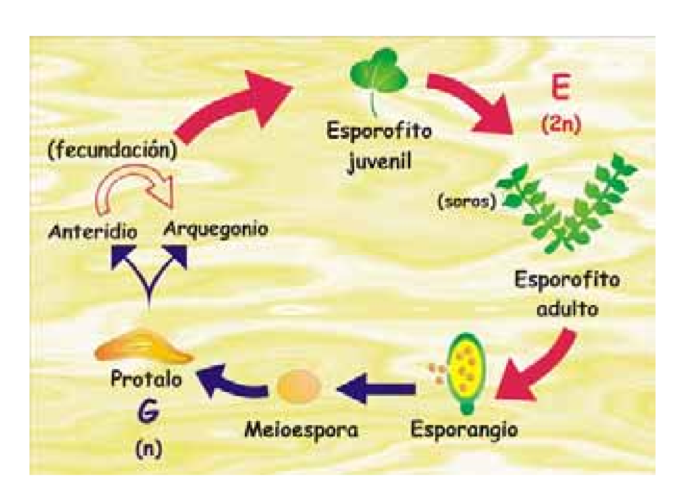


Fig. 7–19: Ciclo vital característico de los pteridófitos. En el esquema se observan el gametofito y el esporófito.

GIMNOSPERMAS

Con las gimnospermas, se consolida el paso a las plantas vasculares y a las plantas con semilla (Fig. 7–20).

Las gimnospermas son organismos vegetales que presentan xilema y floema constituyen un verdadero sistema de transporte interno. La presencia del crecimiento secundario y el desarrollo del tallo leñoso, son características evolutivas importantes, así como la presencia de semillas en lugar de esporas.

El nombre Gymnospermae, viene del latín "semilla desnuda" y esto se debe a que las semillas no poseen ninguna estructura de protección; simplemente se sitúan en los estróbilos hasta su maduración y luego son expulsadas hacia el exterior.

Las gimnospermas comprenden tres grupos importantes: las cícadas, el ginkgo y las coníferas, y eventualmente se incluyen también a los helechos con semilla.

Las cícadas son gimnospermas muy antiguas, que se caracterizan por presentar un tallo de tipo estípite y las hojas dispuestas a manera de una palmera. *Ginkgo biloba* es la única especie de la clase Ginkgopsida que todavía se puede encontrar en algunos lugares del mundo, y por ello se la considera un fósil viviente.

Las coníferas son las gimnospermas más conocidas, entre ellas están los pinos (género *Pinus*) y los cipreses (género *Cupressus*). Estos árboles son característicos de lugares fríos y templados, y tienen una gran importancia ornamental en las ciudades.

Ciclo vital

En las gimnospermas, la fase dominante es el esporofito. Los órganos reproductores de las gimnospermas se encuentran en los estróbilos o conos seminíferos, los cuales se pueden diferenciar en conos masculinos y conos femeninos. En los conos masculinos se origina el **polen**, el cual va a fecundar a los **óvulos** que se encuentran en los conos femeninos. Fruto de la unión de ambos gametos, se forman las semillas, las cuales permanecen en los conos femeninos hasta su maduración y luego se desprenden junto con las escamas (Fig. 7–21) (Cuerda 1993).

ANGIOSPERMAS

Son los organismos vegetales más evolucionados y gracias a su gran radiación adaptativa se han convertido en el mayor grupo vegetal sobre la tierra y han conquistado diversos tipos de ambientes (Fig. 7–22).

El nombre Angiospemae, viene del latín "semilla protegida"; son las plantas que presentan una semilla recubierta por diversos órganos protectores: las flores y los frutos.

Las flores protegen a las estructuras reproductivas (un gineceo femenino y un androceo masculino).



Fig. 7–20: Bosque de gimnospermas del sur de Canadá.

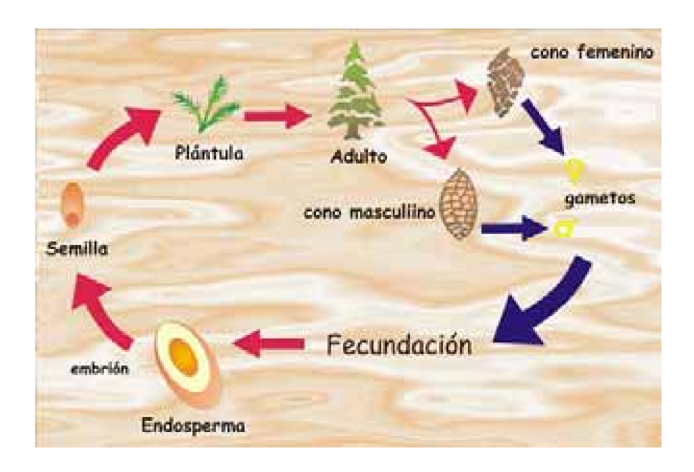


Fig. 7–21: Ciclo vital característico de las gimnospermas.

Aparte de proteger al gineceo y al androceo, las flores cumplen una función importante en la polinización porque sus colores llamativos y el néctar atraen a los insectos que actúan como vectores de transporte, asegurando de esta manera la polinización (ver *Polinización*, en el *Capítulo 8*). De acuerdo a la disposición de los sexos, ya sea que estos estén juntos o separados, las plantas pueden pistiladas (sólo gametos femeninos), estaminadas (sólo gametos masculinos) o hermafroditas (ambos gametos en la misma planta).

Las flores se componen del **cáliz** o **sépalos** y de la **corola** o **pétalos** respectivamente. El cáliz es la cubierta externa de la flor y se encarga de sostener la flor al resto de la planta. Los pétalos son las envolturas internas, que albergan en su interior a los órganos reproductores (Fig. 7–23).

Las plantas siempre verdes, no pierden las hojas durante la floración, en cambio, las plantas deciduas o estacionales pierden las hojas al momento de la floración según un patrón climático, ya que la producción de hojas se da en época húmeda y la producción de flores se da en época seca.

Una vez ocurrida la fecundación, las flores se convierten en frutos, que protegen a las semillas hasta que maduren. Gracias a los azúcares que poseen, aseguran la dispersión de las semillas por medio de vectores animales (ver *Dispersión*, en el *Capítulo 8*).

Las angiospermas presentan dos grupos grandes: las dicotiledóneas y las monocotiledóneas.

Dicotiledóneas

Las angiospermas dicotiledóneas reciben este nombre por presentar semillas formadas por dos cotiledones (estructuras de reserva). Los cotiledones son las primeras hojas del embrión, y se encuentran modificadas como sistemas de reserva energética.

Las dicotiledóneas pueden presentar crecimiento primario y secundario, es decir que se presentan plantas herbáceas y leñosas. Se distinguen por varias características morfo–anatómicas.

Una dicotiledónea tipo presenta hojas con nerviación pinnatinervia (ramificada), las hojas presentan una diferenciación de superficies, distinguiéndose una cara axial (haz) y otra abaxial



Fig. 7–22: Angiospermas representativas. A la izquierda se observa una Euforbíacea del género *Acalypha* en primer plano, y a la derecha se observan Aráceas creciendo conjuntamente con otra vegetación.

(envés), en las dos caras existen diferencias a nivel de los tejidos y el número de estomas (éstos se presentan mayormente en el envés). Las flores son tetrámeras o pentámeras (con los componentes en múltiplos de 4 o 5, respectivamente), la estructura típica es la flor simple. Las raíces típicas son axonomorfas, puesto que presentan un eje principal y ramificaciones secundarias.

Otra característica distintiva –quizá la más útil en la identificación– son los haces vasculares, que en este grupo se hallan dispuestos en un solo grupo central.

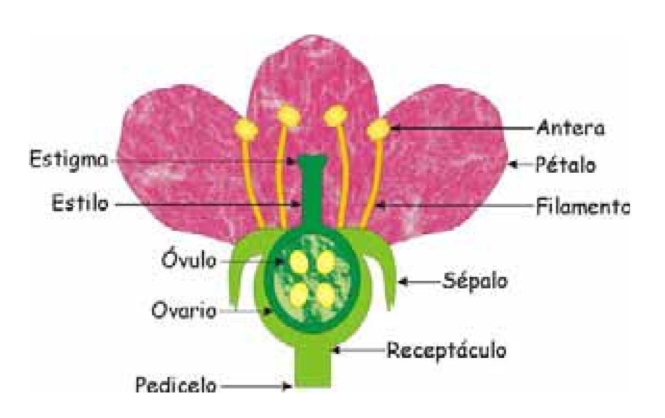


Fig. 7–23: Esquema resumen de las partes que componen a una flor tipo, donde se pueden apreciar estructuras ambos tipos de reproductoras y las envolturas periánticas.

Monocotiledóneas

Las monocotiledóneas se caracterizan por presentar un solo cotiledón en las semillas, el cual muchas veces está reemplazado por un endospermo que cumple la misma función.

Estas plantas son herbáceas (sólo tienen crecimiento primario), con excepción de las Arecáceas (palmeras) que son las únicas monocotiledóneas con crecimiento secundario, característico en un tallo estípite. Al igual que en las dicotiledóneas, existen varias características morfo–anatómicas con las cuales se distinguen.

Las hoja típicas de las monocotiledóneas tienen nerviación paralela y las hojas no presentan una diferencia entre haz y envés, ambas caras presentan los mismos tejidos y número de estomas. Las flores normalmente son trímeras (con los componentes en múltiplos de 3), la estructura típica es la inflorescencia. Las raíces son fasciculares, es decir, presentan ejes iguales sin diferenciación entre uno primario y ramificaciones secundarias.

En un corte se observan los haces vasculares dispersos por todo el tallo en pequeñas masas aisladas.

Las características de flor, raíz y hojas son muy útiles para la diferenciación de monocotiledóneas y dicotiledóneas, sin embargo existen algunos grupos de transición en los cuales esta diferencia no es notoria o puede llevar a confusiones, y la prueba final es realizar un corte a nivel del tejido vascular y ver la disposición del mismo.

Ciclo vital

El ciclo vital de las angiospermas es el más conocido. La fase dominante es el esporofito, que en su estado adulto produce al gametofito que se localiza en los órganos reproductores. El polen es dispersado por diversos medios y llega al androceo, donde penetra hasta llegar a los óvulos, donde ocurre la fecundación. Al igual que las briofitas y las gimnospermas, las angiospermas son **embriófitas** porque conservan el cigoto en la estructura reproductora femenina y el desarrollo se produce también dentro de ella.

La fecundación da origen al embrión, el cual se halla recubierto por una envoltura de células estériles

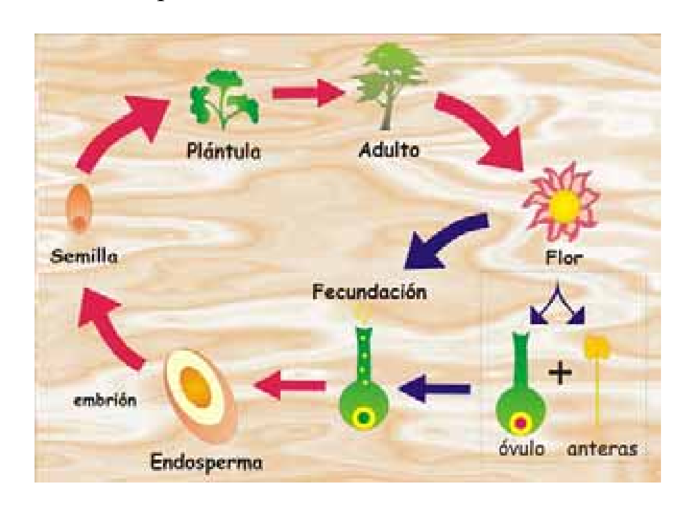


Fig. 7–24: Ciclo vital característico de las angiospermas. El recuadro detalla los órganos sexuales de a flor, los cuales intervienen en la fecundación.

protectoras. El embrión se va desarrollando dentro del fruto hasta que completa la madurez, denominándose en este momento **semilla**. La semilla da origen a una plántula (esporofito) que va creciendo y desarrollando, hasta convertirse en el organismo adulto nuevamente (Fig. 7–24).

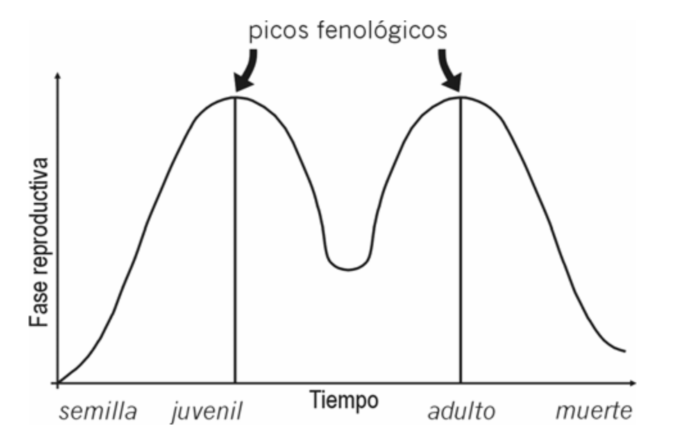


Fig. 7–25: Curva (modelo generalizado) de eventos fenológicos de un individuo en función al tiempo.

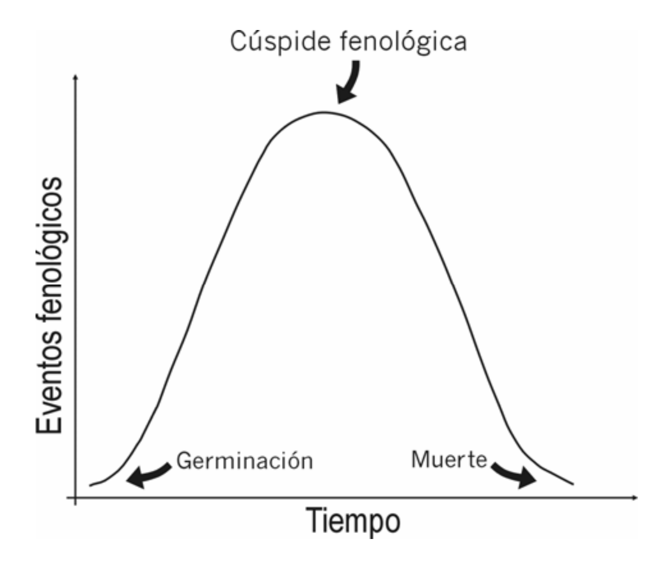


Fig. 7–26: Distribución en forma de campana de gauss de los eventos fenológicos en función al tiempo de vida de un individuo.

Patrones fenológicos

Existen dos sucesos importantes en las plantas vasculares, que son la floración y la fructificación. Ambos sucesos se dan en la cúspide del desarrollo del individuo, cuando se encuentra gozando de todas las facultades adquiridas durante el desarrollo hasta la etapa adulta, en la cual empieza la formación de gametos y semillas (Villee et al. 1992).

Picos fenológicos

Los eventos o picos fenológicos se dan en función del tiempo y el espacio, ya que la duración de éstos y las condiciones tanto climáticas como geográficas en las que se dan varían de acuerdo a la especie en que se manifiestan. Ocurren durante la fase reproductiva de los organismos, ya que en ella ocurren la floración y la fructificación, aunque es posible que en algunos casos solamente se de la floración (Fig. 7–25). Con relación al tiempo de vida de los individuos vegetales, los eventos fenológicos tienen una distribución en forma de campana de Gauss, como se muestra en la Fig. 7–26, ya que éstos son nulos en el inicio y en el final del ciclo vital; van haciéndose cada vez mayores conforme se acercan y menores cuando se alejan de la cúspide de madurez.

Durante el período en el que se presentan los eventos fenológicos, es posible observar variaciones entre la cantidad de eventos –de floración, por ejemplo– que ocurren en un determinado tiempo, porque la cantidad de eventos puede aumentar o disminuir, de acuerdo al tiempo. En la Fig. 7–27 se ejemplifica esta situación con dos individuos *A* y *B*, donde en los

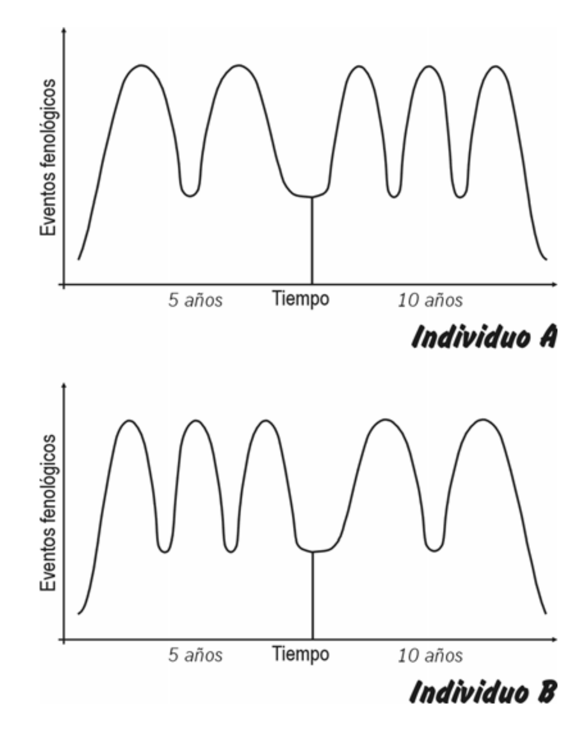


Fig. 7–27: Ejemplo de variación del número de eventos fenológicos en el tiempo, para dos individuos A y B.

primeros cinco años de actividad fenológica el individuo *A* presenta tres eventos fenológicos y *B* solamente dos, posteriormente, en los siguientes cinco años, el individuo *A* reduce a dos los eventos fenológicos, pero en *B* se incrementan a tres.

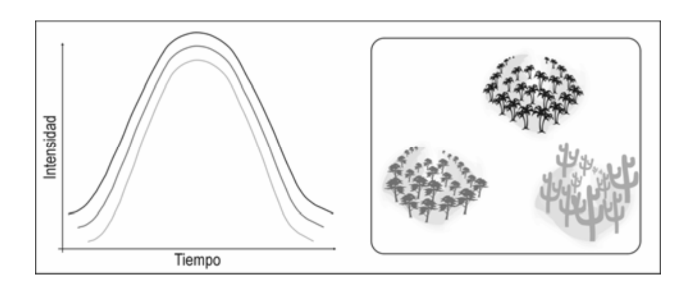


Fig. 7–28: Representación de la floración y fructificación masiva, en tiempo y espacio.

Patrones de floración y fructificación

Los patrones de floración y fructificación son determinados por la condición tiempo–espacio en la que se manifiestan. Estos patrones se aplican a un grupo de individuos, no a poblaciones, debido a que se establecen patrones tiempo–espacial entre más de una variable.

Los patrones de floración y fructificación masiva son aquellos donde los eventos fenológicos se encuentran concentrados en un mismo tiempo y espacio (Fig. 7–28). En cambio, los patrones de floración y fructificación extendida, son aquellos donde los eventos fenológicos de las diferentes especies se dan en el mismo espacio, pero en diferentes tiempos (Fig. 7–29) (Villee et al. 1992). El análisis de ambos patrones permite realizar análisis de diversidad en una determinada zona, ya que gracias a estos datos es posible conocer el tipo de vegetación existente en el área de estudio.

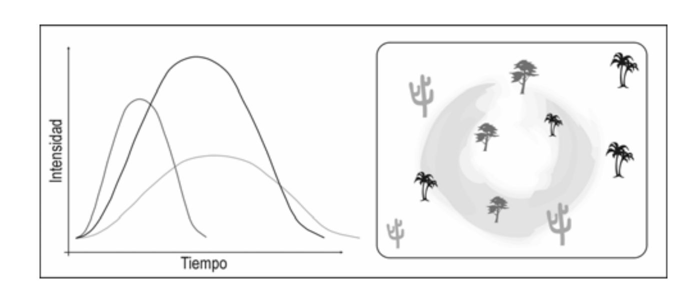


Fig. 7–29: Representación de la floración y fructificación dispersa, en tiempo y espacio.

CUESTIONARIO

1) En un cuadro, compare la reproducción asexual con la reproducción sexual.
2) Explique brevemente en qué consiste la reproducción vegetativa.
3) Explique brevemente mitosis y meiosis.
4) ¿Qué diferencias hay entre la mitosis y meiosis vegetal con la mitosis y meiosis animal? Cite.
5) Defina espora y nombre tres tipos de ellas.
6) Defina alternancia de generaciones, e indique la carga genética presente en ambas generaciones.
7) ¿Cuál es la diferencia entre crecimiento y desarrollo?.
8) ¿Cuáles son los Reinos de interés botánico?.
9) Haga un cuadro comparativo entre los grupos vegetales mencionados, tomando en cuenta aspectos generales y ciclos de vida (sin gráficas).
10) ¿Cuáles son las principales diferencias entre monocotiledóneas y dicotiledóneas?. Sugerencia: elaborar una tabla comparativa.

REFERENCIAS

🕮 Azcón–Bieto, J. & M. Talón. 1993. *Fisiología y bioquímica vegetal.* Editorial Interamericana • McGraw–Hill, Madrid, pp 285–320.

🕮 Cuerda, J.. 1993. *Atlas de Botánica*. Editorial Cultural, Barcelona, pp 42–43, 52.

- Kimball, J.. 1984. *Biología*. 4º edición, Editorial Addison–Wesley Iberoamericana, México DF, pp 250–267.
- Pinto, M.. 1997. *Guía de trabajos prácticos. Botánica Sistemática*. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Carrera de Biología, pp 5, 9, 13, 17, 20, 23, 25, 28.
- Raven, P., R. Evert & S. Eichhorn. 1991. *Biología de las Plantas Tomo I*. Editorial Reverté, Barcelona, p 196.
- Smith, C. & E. Wood. 1997. *Biología celular*. Editorial Addison–Wesley Iberoamericana, USA, pp 323–335.
- Villee C., E. Solomon, C. Martin, D. Martin, L. Berg & W. Davis. 1992. *Biología*. 2º edición, Editorial Interamericana • McGraw–Hill, México DF, pp 201–215, 1229, 1230–1242, 1329, 1343, 1369.

Lecturas complementarias recomendadas

- Cronquist, A. 1997. *Introducción a la botánica.* 12º reimpresión, Editorial CECSA, México DF.
- Documentos *Ecología en Bolivia*, Serie Botánica.
- Killeen, T., E. Garcia & S. Beck. 1993. *Guía de árboles de Bolivia.* Herbario Nacional de Bolivia – Missouri Botanical Garden, La Paz – Missouri.
- Kyte, L. & J. Kleyn. 1996. *Plants from test tubes: An introduction to micropropagation*. 3º edición, Editorial Timberline Press, USA.
- Moraes, M. 1994. *Ecología vegetal. Relación planta – animal.* Editorial Instituto de Ecología UMSA, La Paz.
- Pestalozzi, H.U. & M.A. Torrez. 1998. *Flora ilustrada altoandina*. Herbario Nacional de Bolivia – Herbario Forestal Nacional "Martín Cárdenas", Cochabamba, 245p.
- Raven P., R. Evert & S. Eichhorn. 1991. *Biología de las plantas* Tomos I y II. Editorial Reverté, Barcelona.
- Villee C., E. Solomon, C. Martin, D. Martin, L. Berg & W. Davis. 1992. *Biología.* 2º edición, Editorial Interamericana • McGraw–Hill, México DF.

Páginas en Internet

- ✓ Área de Botánica de la Universidad de Cornell: http://www.plantations.cornell.edu/
- ✓ Museo de Historia Natural de Smithsonian Institution: http://www.mnh.si.edu/
- ✓ Revista Ecología en Bolivia: http://revistaecologia.bo.go.to/

Para información actualizada, nuevos enlaces y material didáctico adicional visitar:

http://www.mbotanica.8m.com

CAPÍTULO 8

ECOLOGÍA

La ecología es la ciencia que estudia la distribución y la abundancia de los organismos, en relación a las interacciones existentes entre ellos y el medio. Si observamos todo lo que nos rodea y prestamos atención a lo que sucede entre cada una de las partes del ambiente, veremos lo complejas que son las interacciones que existen entre los seres vivos y el medio (Fig. 8–1).

El estudio de la ecología es fundamental para entender y complementar lo visto anteriormente, ya que esta parte de la biología engloba la dinámica de la fisiología, la anatomía, la morfología, la genética y la evolución de los organismos.

La ecología se estudia de manera empírica desde hace miles de años, ya los filósofos griegos de la antigüedad dieron las primeras pautas sobre la relación existente entre los seres vivos y su medio ambiente, posteriormente –en 1859– Darwin daba ciertos criterios de lo que posteriormente, se denominaría ecología, a principios del siglo XX. En 1869, Ernst Haeckel propone el concepto de **ecología** como las relaciones existentes entre lo vivo y lo no vivo. Posteriormente este enfoque se va dirigiendo hacia las interacciones de los seres vivos con el medio, hasta llegar a la definición de Krebs (1985) que propone: "La ecología es el estudio científico de las interacciones que determinan la distribución y la abundancia de los organismos". En este capítulo usaremos esa definición, por ser la que más se aproxima al campo de acción de la ecología, ya que hablar solamente de interacciones supone un tema demasiado grande, que está fuera del alcance de la ecología, la biología y las ciencias naturales.



Fig. 8–1: La relación de los seres vivos con el medio se hace evidente en cualquier escena. En esta foto se aprecia la interacción de la vegetación con el río, las rocas y las formaciones geológicas.

Es importante distinguir que el **medio** está formado tanto por los factores abióticos (sin vida) como por los factores bióticos (los seres vivos), por lo tanto un organismo que está relacionado con su medio, está relacionado con la parte viva y no viva del mismo.

CONCEPTOS BÁSICOS DE ECOLOGÍA

Antes de empezar a ver las diversas interacciones que existen entre el ambiente abiótico y los seres vivos, entre individuos de la misma especie y entre especies, y el por qué de la distribución y la abundancia de los organismos, es fundamental puntualizar algunos conceptos, que si bien en la actualidad muchas de ellas son palabras de uso común, la mayoría de las veces no se tiene un concepto claro de lo que realmente significan.

Después de ver la definición de ecología, es importante definir algunas de las ramas de la ecología y tipos especiales de estudio.

Autoecología: Es el estudio del organismo o la especie individual (Odum 1972, Smith & Smith 2001).

Sinecología: Es el estudio del grupo o grupos de organismos, los cuales están asociados unos con otros, formando una unidad (Odum 1972, Smith & Smith 2001).

Ecología de poblaciones: Es el estudio de la **distribución** y la **abundancia**, debidos a las interacciones del conjunto de individuos de una misma especie, que coexisten en un mismo espacio y tiempo (Fig. 8–2). El estudio de la ecología de comunidades se refiere a las interacciones existentes entre varias poblaciones.

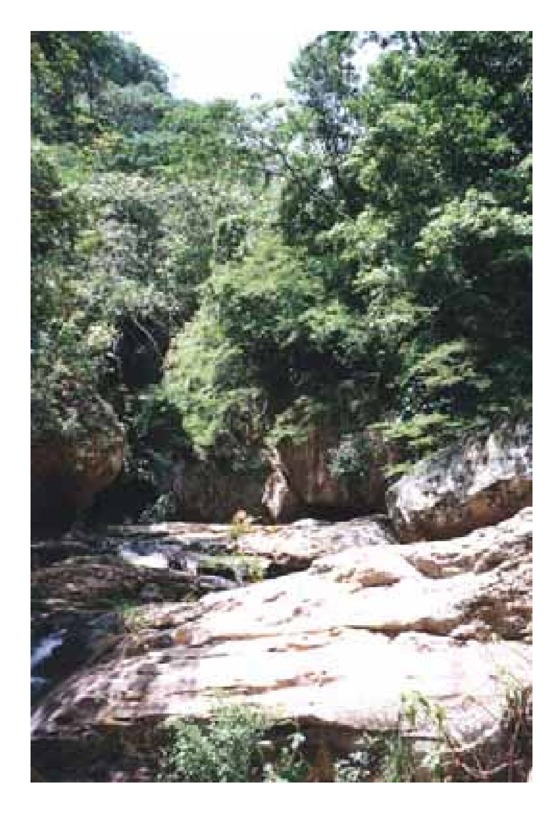


Fig. 8–2: La distribución y la abundancia de los organismos en un mismo tiempo y espacio determinan diferentes interacciones entre las poblaciones.

Ecología fisiológica: Estudia las **reacciones** de los organismos a los factores físicos y químicos del medio (Krebs 1985, Smith & Smith 2001).

Ahora bien, otros conceptos importantes son:

Hábitat: Es el sitio o ambiente ocupado por un organismo (Villee et al. 1992).

Nicho ecológico: Es el papel de un organismo en un determinado hábitat, es la "profesión" o "especialidad" del organismo en su ambiente (Smith & Smith 2001). Morales (1988), lo define como el conjunto de factores que afectan a un organismo y determinan su papel en el ecosistema.

Ecosistema: Es la unidad que forma una comunidad con el ambiente abiótico (Villee et al. 1992). Un ecosistema es un sistema abierto, donde existe entrada y salida de materia y energía.

Se reconocen algunos tipos principales de **ecosistemas**, estos son:

- El **ecosistema natural**, aquel que no ha sido intervenido por el hombre.
- El **ecosistema cultivado**, aquel en el que existe intervención y es usado para la explotación agrícola. También se lo denomina **agroecosistema**.
- El **ecosistema degradado**, aquel que ha sufrido daños por la intervención del hombre y no tiene muchas posibilidades de regenerarse.
- El **ecosistema modificado**, aquel donde ha habido un cierto grado de intervención, que produce la modificación de las características naturales del mismo.
- El **ecosistema construido**, aquel donde dominan las construcciones humanas.

Distribución: Es el área donde se encuentra un determinado organismo.

Abundancia: Es la densidad o tamaño de un grupo de individuos de una determinada especie.

Siguiendo con los conceptos, veamos ahora algunos más generales, que engloban a los anteriores:

Biotopo: Es el espacio geográfico en el que se desarrolla cierto grupo de seres vivos bajo ciertas condiciones ambientales.

Biocenosis: Es el conjunto unificado de especies capaces de habitar un biotopo particular.

Biosfera: Es la reunión de todos los ecosistemas, formando un conjunto de aire, tierra, agua y organismos vivos (Villee et al 1992, Smith & Smith 2001).

Biogeografía: Es el estudio de la distribución de los organismos.

Niveles de organización: También conocidos como niveles de integración, son las diferentes categorías en las que se puede reunir a la materia viva y a los organismos vivos:

Biosfera
Ecosistemas *
Comunidades *
Poblaciones *
Especies (organismos individuales) *
(de aquí para arriba se consideran niveles de organismos vivos constituidos por los niveles por debajo de la línea)

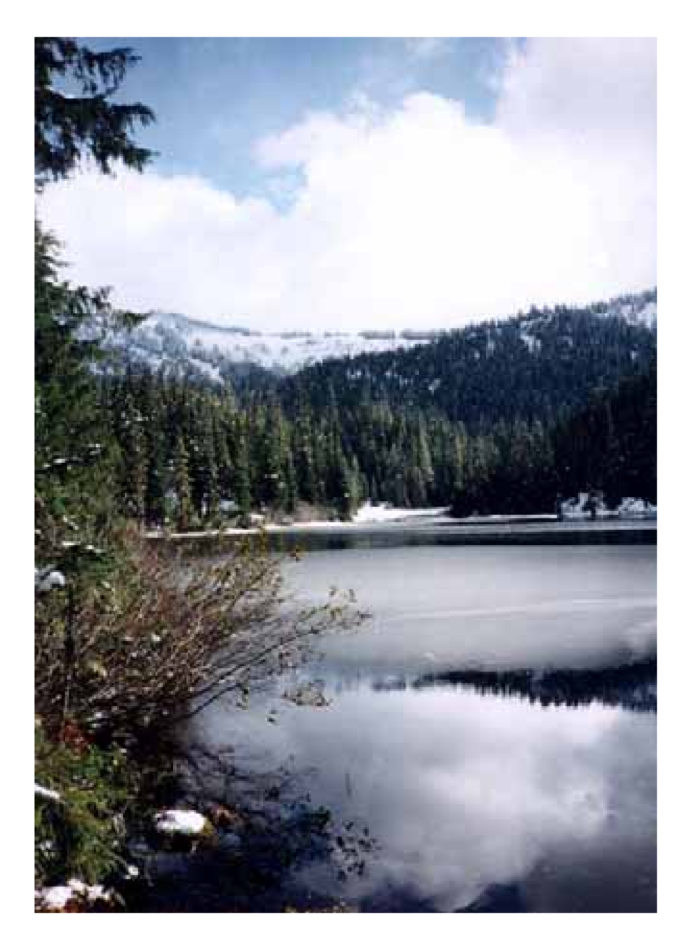


Fig. 8–3: El ambiente abiótico propio de una montaña nevada restringe el tipo de vegetación que puede existir en ella.

Sistemas de órganos
Órganos
Tejidos
Células
Organelos
Moléculas

Los niveles que se encuentran por debajo de los organismos individuales, no son seres vivos, pero son la materia que da lugar a los seres vivos, podríamos llamarlos biomoléculas.

La ecología se ocupa principalmente de cuatro de estos niveles (marcados con *): los individuos, las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas.

EL AMBIENTE ABIÓTICO

La primera condición para la distribución y la abundancia de los organismos en un determinado lugar son las condiciones del ambiente. Los **factores abióticos** (sin vida) son los que condicionan la presencia ausencia de una o más especies en un determinado lugar. Es por ello que, por ejemplo, no existen ambaibos (*Cecropia* spp.) en las montañas nevadas del sur de Chile, o *Polylepis tarapacana* en la selva amazónica brasileña (Fig. 8–3 y 8–4).

El medio abiótico es un conjunto de varios factores, entre los cuales están la luz, la disponibilidad de agua, la temperatura, la humedad, el pH, la salinidad, la cantidad de nutrientes y la calidad del suelo, los cuales están influenciados directa o indirectamente por el gradiente altitudinal.

La **luz** es un factor sumamente limitante para las plantas, puesto que éstas dependen de ella para realizar la fotosíntesis. Las plantas sin luz mueren porque no pueden sintetizar nutrientes sin la energía lumínica (Krebs 1985).

La **temperatura** y la presión atmosférica son dos de las condiciones ambientales con más variación en función al gradiente altitudinal del planeta, puesto que mientras se sube la temperatura y la presión atmosférica descienden. La temperatura baja de medio a un grado centígrado por cada cien metros que se suben, y se mantiene constante en –60ºC hasta antes de la capa de ozono. Esta variación en temperatura y presión atmosférica condiciona que los lugares bajos sean más húmedos que los lugares altos (Fig. 8–5).

El gradiente altitudinal de temperatura, presión atmosférica y **humedad** muestra que las condiciones de vida son más favorables al nivel del mar que en la



Fig. 8–4: El ambiente abiótico propio de la selva amazónica determina la presencia de vegetación como la que se aprecia en la fotografía.

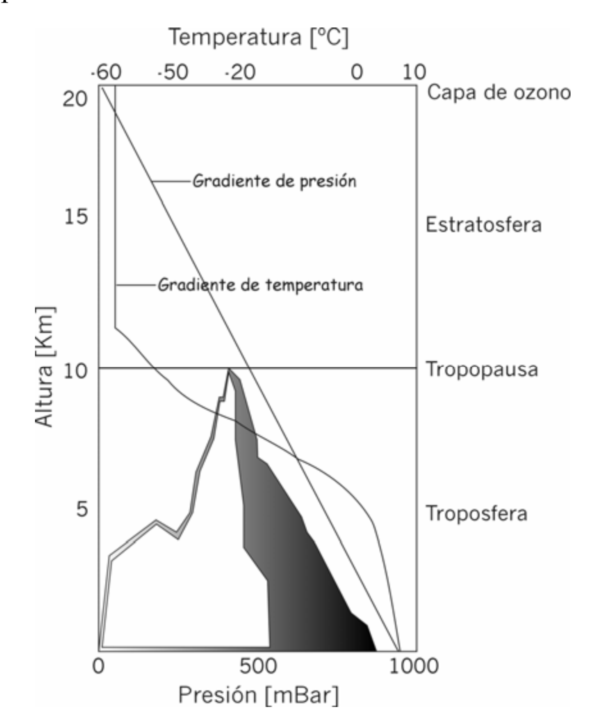


Fig. 8–5: Los gradientes de temperatura y presión están relacionados con la altura como se observa en este esquema. Las curvas muestran una disminución gradual de la temperatura ambiental, que al sobrepasar los 10 Km de altura, se hace constante en –60ºC. La presión, en cambio, disminuye de manera constante al aumentar la altura, hasta llegar a cero a la altura de la capa de ozono.

altura, y de esta manera se explica que haya una mayor diversidad en los trópicos húmedos que en las alturas.

La **temperatura** juega un papel fundamental determinando qué organismos se presentan en una región dada, en función a las diferentes adaptaciones fisiológicas de los mismos. Los seres vivos pueden vivir en un rango de temperatura que puede ser ancho o estrecho, dependiendo de la especie, el cual presenta una temperatura ideal a la cual se da el máximo desarrollo, y temperaturas de sobrevivencia dentro de la cuales todavía se pueden mantener las funciones vitales. Fuera de estos límites no es posible la subsistencia.

La temperatura condiciona la diversidad de un determinado lugar, puesto que el gradiente térmico terrestre genera –junto con otros parámetros– una infinidad de ecosistemas.

Las plantas están constituidas por un 70 a un 95% de **agua**, y por lo que este es el elemento más importante que necesitan. La disponibilidad de agua y la humedad, por lo tanto, juegan un papel fundamental en la presencia o ausencia de ciertas especies en un determinado lugar (Fig. 8–6).

El **pH** y la **salinidad** son dos factores que limitan la presencia de los individuos en un ambiente, en función a las adaptaciones y rangos de tolerancia que éstos presenten. La mayoría de las plantas viven en ambientes con un pH neutro (pH = 7) o cercano al neutro y una fuerte variación –acidez o alcalinidad– lesiona los tejidos e impide la absorción de nutrientes. De igual manera, un exceso o una carencia de sales producen un desequilibrio de concentraciones entre el medio y la planta (uno está más concentrado que el otro). El pH y la salinidad usualmente están relacionados y existen algunas plantas que han desarrollado ciertas adaptaciones que les permiten vivir en condiciones extremas, como por ejemplo *Atriplex* sp., que puede vivir en suelos extremadamente salinos mediante un sistema de acumulación de sales en las hojas (Krebs 1985).

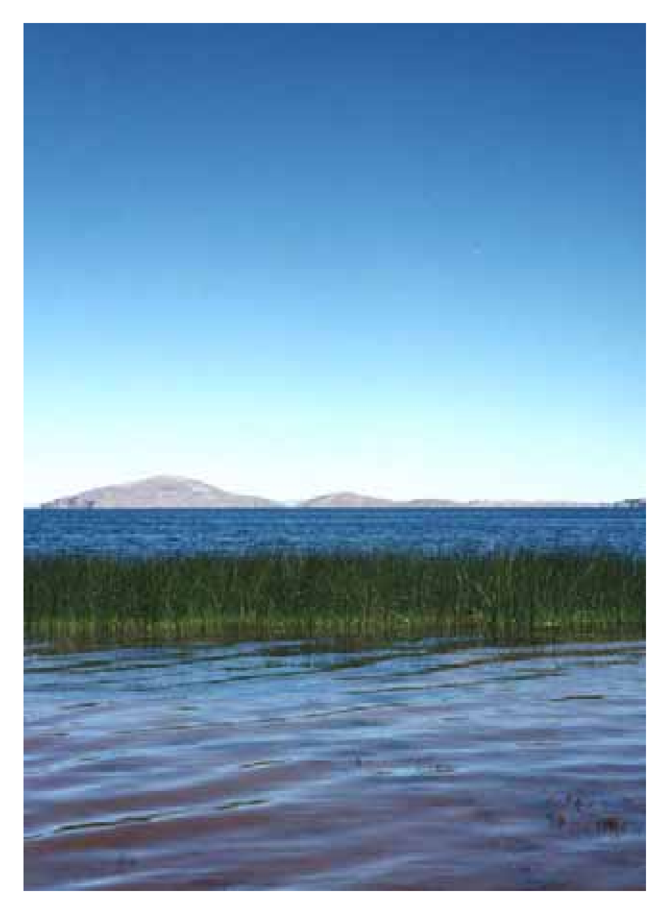


Fig. 8–6: El agua es la molécula inorgánica más importante para los seres vivos. En la fotografía se ven individuos de *Schoenoplectus californicus* var. totora, estas plantas necesitan de grandes cantidades de agua para sobrevivir.

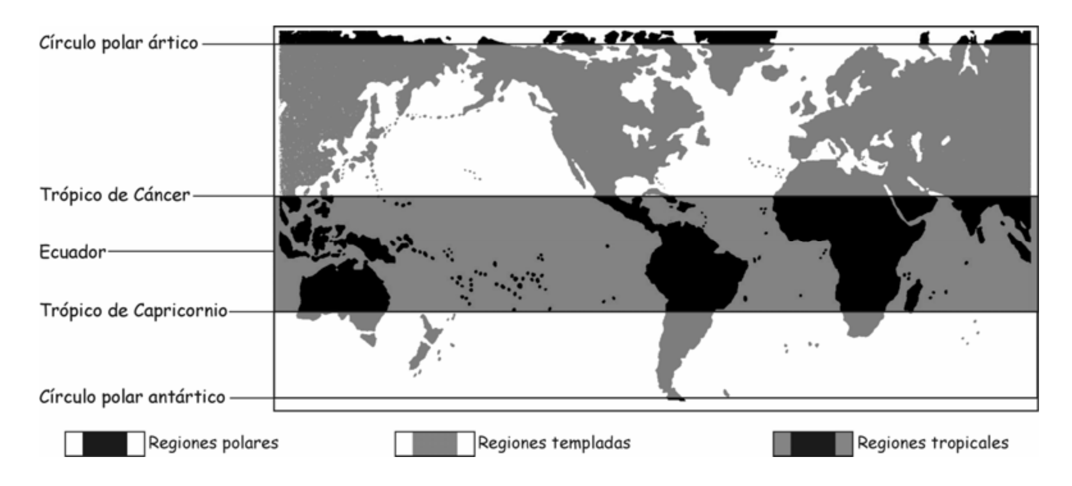


Fig. 8–7: Ubicación geográfica de las diferentes regiones térmicas del planeta.

La cantidad de **nutrientes** y la calidad de los suelos condicionan el crecimiento de las plantas. En suelos deficientes en nutrientes las plantas crecerán con ciertas deficiencias o morirán si es que no están adaptadas a contrarrestar situaciones de estrés por falta de nutrientes. Sin embargo, una prolongada carencia de nutrientes terminará por producir la muerte incluso de las plantas adaptadas.

Todas estas condiciones forman un conjunto complejo, que denominamos **ambiente abiótico**, el cual provee el medio (lo que rodea a los organismos) y el sustrato (superficie sobre la que viven los organismos) que necesitan los seres vivos. La gran cantidad de combinaciones que se pueden con estas características hacen que la Tierra sea un ambiente heterogéneo y la biodiversidad sea mayor. A continuación veremos las principales combinaciones del ambiente abiótico: los biomas.

BIOMAS

Nuestro planeta está conformado por infinitos ecosistemas, los cuales en conjunto forman la **biosfera**. Esta biosfera no es un sistema homogéneo, por el contrario, la gran biodiversidad se debe a la heterogeneidad del mundo (*sensu* Smith & Smith 2001).

Esta heterogeneidad presenta diferentes regiones térmicas, y al ser la temperatura uno de los principales factores abióticos determinantes para la vida, se puede dividir al planeta en diferentes regiones, de acuerdo a la temperatura (Fig. 8–7). En función a esto, se distinguen las regiones polares, las regiones subtropicales y la franja tropical.

Las regiones polares se caracterizan por temperaturas bajas y una reducida diversidad vegetal. Las regiones subtropicales están entre las regiones polares y la franja tropical, se caracterizan por presentar temperatura y diversidad intermedias. Finalmente, entre los paralelos 21ºS y 21ºN se encuentra la franja tropical, donde la temperatura es mayor y existe una gran diversidad. Esta franja se divide en neotrópico y paleotrópico, en función a los continentes, el neotrópico está conformado por el continente Americano, y el paleotrópico por los continentes restantes.

Toda esta diversidad de infinitos ecosistemas, se la ha agrupado en ocho grandes grupos llamados **biomas**, cada uno de los biomas tiene características individuales, determinadas por el clima, la vegetación y la fauna. Estos biomas son: Tundra, Taiga, Bosques caducifolios, Praderas templadas, Chaparrales, Selvas tropicales, Sabanas y Desiertos. A continuación veremos a detalle cada uno de estos biomas, y también se da una visión general de los hábitats acuáticos.

Tundra

La **tundra** (Fig. 8–8) es una zona muy fría ubicada debajo de las nieves eternas del casquete polar ártico, a los pies de ciertas cordilleras nevadas. Constituye aproximadamente un 10% de la superficie sólida terrestre y no tiene un equivalente antártico, al no existir tierras sobre el nivel del mar a latitudes apropiadas.



Fig. 8–8: La tundra se caracteriza por su permanente cobertura de nieve y hielo, y por su escasa vegetación (fotografía: Carlos Gerke).

La principal característica de la tundra es la presencia del **permafroste**, una capa de suelo congelado que impide el drenaje del agua y la penetración de las raíces, y es por esta razón que en estas zonas solamente crecen pequeños arbustos leñosos, pastos, líquenes y musgos. Sin embargo, el permafroste ayuda a mantener la humedad, en estas zonas donde la lluvia es escasa (Villee et al. 1992).

Los inviernos largos y crudos son propios de la tundra, así como las bajas precipitaciones. Los suelos suelen ser escasos de nutrientes, puesto que la capa superficial de materia orgánica es muy pobre.

Taiga

La **taiga** (Fig. 8–9), también conocida como bosques boreales y/o de coníferas, se caracteriza por largos y



Fig. 8–9: Taiga altiplánica (fotografía: Antonio Peres).

duros inviernos, y cortos veranos (ocasionalmente cálidos). En estas zonas pueden haber precipitaciones considerables, muchas veces en forma de nieve. Constituye aproximadamente un 11% de la superficie sólida del planeta.

En este bioma, el suelo es delgado y ácido, y su formación es lenta debido a las bajas temperaturas y a las resinas secretadas por las coníferas, puesto que estas resinas son moléculas de muy difícil degradación, y resulta muy moroso el incorporarlas al suelo.



Fig. 8–10: Bosque caducifolio templado del Parque Nacional Puyehue en Osorno, Chile.

La nieve puede acumularse en varios metros de altura, y cumple un rol ecológico muy importante, puesto que evita que el suelo se congele, ya que de otra forma, al darse un descenso brusco en la temperatura, éste podría congelarse (incluso en verano) y consiguientemente morirían todos los organismos que habitan en él.

Si bien este bioma se caracteriza por los bosques de coníferas, la cantidad de especies por lo general es muy reducida, es decir, abundan unas pocas especies, capaces de crecer en estas condiciones (Villee et al. 1992).

Ocasionalmente se forman claros entre los bosques de coníferas, y en ellos suelen crecer árboles deciduos, al formarse condiciones ambientales muy particulares en estos claros.

Bosques caducifolios

Los **bosques caducifolios** (Fig. 8–10) se desarrollan en latitudes comprendidas entre los 35 y 50ºN. Estas zonas son lo suficientemente húmedas como para permitir el crecimiento de árboles de gran altura.

La temperatura en estos bosques varía considerablemente, en el invierno puede alcanzar los –30ºC y en verano fácilmente llega a los 30ºC, como se puede ver, existe una fluctuación de unos 60ºC, creando una gran posibilidad de condiciones. La precipitación suele ser regular durante el año, y no varía considerablemente en las diferentes estaciones (Villee et al. 1992).

Las especies características de estos bosques presentan un ciclo vital anual, con seis meses de desarrollo y otros seis de latencia. En el periodo de latencia, los árboles pierden las hojas y reducen su tasa metabólica, a fin de conservar mejor el agua (Campbell et al. 1994).

Los bosques deciduos son más abiertos, menos densos y menos diversos que los bosques tropicales húmedos.

Praderas templadas

Las **praderas templadas** (Fig. 8–11) carecen de árboles y las plantas herbáceas son predominantes, debido a las sequías estacionales, incendios ocasionales y pastoreo de grandes mamíferos. Los inviernos con temperaturas muy bajas también son característicos de este bioma (Villee et al. 1992).



Fig. 8–11: Herbáceas y pastos bajos de una pradera, a la orilla de un lago (fotografía: Antonio Peres).



Fig. 8–12: Chaparrales de Tarija (fotografía: Narel Paniagua).

Las praderas se formaron y extendieron siguiendo la retirada de los glaciares, después de la última era de hielo, al mismo tiempo que fueron pobladas por los grandes mamíferos que ahí pastan hasta hoy en día.

La altura de los pastos que crecen en las praderas es muy variable, puesto que van desde unos pocos centímetros hasta uno o dos metros. Esta variación se debe en gran medida a la cantidad de lluvia que cae en un área determinada. En las praderas los nutrientes minerales tienden a acumularse en una capa bien definida en el suelo, por debajo de la capa superficial. La gran cantidad de pastos que mueren cada año, contribuye a la formación de hojarasca, y por lo tanto los suelos de las praderas son ricos en materia orgánica. En estas zonas suelen presentarse pastos "formadores de suelos" que contribuyen a la fertilidad de los mismos.

Cuando las praderas sufren alteración tienden a convertirse en bosques si las condiciones son favorables, y en desiertos si las condiciones son desfavorables. Esta conversión explica de cierta manera el constate crecimiento que tienen los desiertos actualmente.

Los mamíferos más comunes en las praderas son el bisonte de Norteamérica, las gacelas, las cebras del cinturón Africano y los caballos salvajes del Asia.

Chaparrales

Los **chaparrales** (Fig. 8–12) son zonas donde predominan los arbustos espinosos siempreverdes.

El clima en este bioma está condicionado por los vientos fríos, provenientes del océano. Este clima produce inviernos suaves y poco lluviosos, así como veranos largos y cálidos.

La vegetación característica de este lugar presenta tejidos endurecidos para reducir la pérdida de agua, y las espinas son un medio de defensa contra los herbívoros del lugar. Estas plantas están expuestas a incendios periódicos y presentan adaptaciones que les permiten sobrevivir ante el fuego, como ser partes subterráneas capaces de regenerar la planta luego del incendio, o semillas que necesitan elevadas temperaturas para comenzar a germinar.

Selvas tropicales

Las **selvas tropicales** (Fig. 8–13) se encuentran en la región ecuatorial del planeta y se caracterizan por días de once a doce horas con temperaturas elevadas a templadas. La precipitación es variable y determina el tipo de vegetación.

Existen tres tipos de selvas tropicales:

- Las selvas espinosas de las tierras ecuatoriales bajas del oriente del África y el noroeste de la India, donde la precipitación es escasa. En estas áreas hay prolongados periodos de sequía, y por ello dominan los árboles y arbustos espinosos, adaptados a reducir la pérdida de agua.
- En la parte media del oeste del África y en el sudeste de Asia, las selvas presentan épocas secas y épocas húmedas definidas. En estas selvas dominan los árboles deciduos, los cuales pierden las hojas durante la época seca para reducir la pérdida de agua por evapotranspiración.
- Las selvas tropicales lluviosas, que constituyen un bioma complejo puesto que comprenden a una gran cantidad de especies, entre las cuales se conocen unas 300 especies de árboles –la mayoría angiospermas siempreverdes– que pueden alcanzar los 50 o 60 metros de altura. Estos bosques constituyen cerrados doseles con pequeños claros. Este tipo de selvas tropicales comprenden una gran diversidad de ecosistemas.

La biodiversidad de estas zonas es muy grande, se presentan muchas angiospermas leñosas y herbáceas, se presentan muchos helechos, líquenes, musgos y algas. Las condiciones climáticas son óptimas en la mayoría de estas selvas y dan lugar a una gran variedad de especies, muchas de las cuales utilizan recursos especializados para evitar competencia.

Sabanas

Las **sabanas** (Fig. 8–14) son biomas donde los pastos son predominantes y se encuentran pocos árboles muy dispersos. En estas zonas los incendios son frecuentes, principalmente por la acción de la luz solar y del hombre. La temperatura es muy variable y la precipitación mucho menor que en zonas tropicales, lo cual condiciona y limita la diversidad vegetal de este bioma (Villee et al. 1992).

Normalmente las sabanas se encuentran entre las selvas tropicales y los desiertos, pudiendo convertirse en selvas en condiciones favorables, o en desiertos en condiciones desfavorables.

La proliferación de los árboles se ve limitada por los animales (ganado) y también por los incendios, favoreciendo el crecimiento de los pastos. Muchas de las plantas que crecen en este bioma presentan bulbos subterráneos que les permiten sobrevivir a los incendios.



Fig. 8–13: Selva tropical de las llanuras del Beni, Bolivia.



Fig. 8–14: Sabana sudafricana (fotografía: Antonio Peres).

En las sabanas los pastos crecen rápida y abundantemente, proveyendo al ganado de suficiente alimento, pero no constituyen un medio efectivo de protección, dejando a la fauna expuesta a la mayoría de las tragedias naturales.

Desiertos

Los **desiertos** (Fig. 8–15) son la zonas más agrestes del planeta, las condiciones de vida son extremas y la vida se encuentra condicionada a una serie de adaptaciones que permitan hacer frente a temperaturas muy altas (54ºC) durante el día y bajo cero durante la noche. La precipitación es mínima o nula y los ambientes son secos, con excepción de algunos microclimas.

Al contrario de los otros biomas, muchos desiertos están actualmente en expansión, por un proceso de desertificación que está afectando negativamente a praderas y sabanas principalmente. Este es un problema ambiental de gran importancia, producto del calentamiento global, la sobreexplotación de recursos naturales y la falta de estrategias de manejo y conservación.



Fig. 8–15: Desierto australiano de Roxby Downs, Adelaide (fotografía: Neil y Mariana Pickers).

En los desiertos las cactáceas son plantas muy comunes, puesto que pueden sobrevivir a elevadas temperaturas y con poca agua. Una de las estrategias que hace de estas plantas un grupo exitoso en el desierto es la fotosíntesis CAM, en la cual existe absorción de CO_2 en las horas de menor temperatura, para evitar pérdidas de agua en las horas de mayor calor (Achá & Fontúrbel 2000). En estas zonas también se pueden encontrar arbustos anuales o bianuales (Campbell et al. 1994). Todas las plantas y animales que viven en el desierto se han adaptado a resistir estas condiciones extremas.

Las plantas del desierto han reducido sus hojas a espinas u otras estructuras con menor superficie para evitar la pérdida de agua por evapotranspiración (Achá & Fontúrbel 2000) y producen una gran cantidad de sustancias tóxicas para evitar la competencia con otras plantas y la herbivoría.

Hábitats acuáticos

La Tierra está formada por tres cuartas partes de agua, distribuida en cuerpos de agua dulce, estuarios y océanos. En estas formas de agua habita una gran cantidad de especies, gracias a la amplia variedad de ecosistemas que existen en los hábitats acuáticos.

Los cuerpos de agua dulce están constituidos por lagos, ríos, arroyos y estanques, donde viven algunas plantas superiores, algas, protozoos y varios animales. Esta agua se caracterizan por un bajo contenido de sales, bajas temperaturas y un alto contenido de oxígeno disuelto (el oxígeno se disuelve mejor a temperaturas bajas). En estos ambientes se distinguen organismos que viven en la superficie del agua, denominados **plancton**, y organismos característicos del fondo llamados **bentos** (Villee et al. 1992).

El mar es un conjunto de ecosistemas muy amplio y complejo, puesto que en él las condiciones varían en función a la luz, temperatura, profundidad, cantidad de oxígeno y otros factores, dando una

heterogeneidad ambiental tan grande que permite el desarrollo de una biodiversidad inimaginable.

La Fig. 8–16 muestra las principales zonas del mar, que se han dividido de acuerdo a su profundidad máxima. A partir de los 200 metros de profundidad, la luz no es capaz de penetrar las aguas, siendo este punto el límite para la fotosíntesis. Por debajo de este límite habitan organismos bénticos (del bentos) y al no poder vivir los fotosintéticos bajo este límite es claro que la diversidad vegetal de las profundidades es mínima o inexistente.

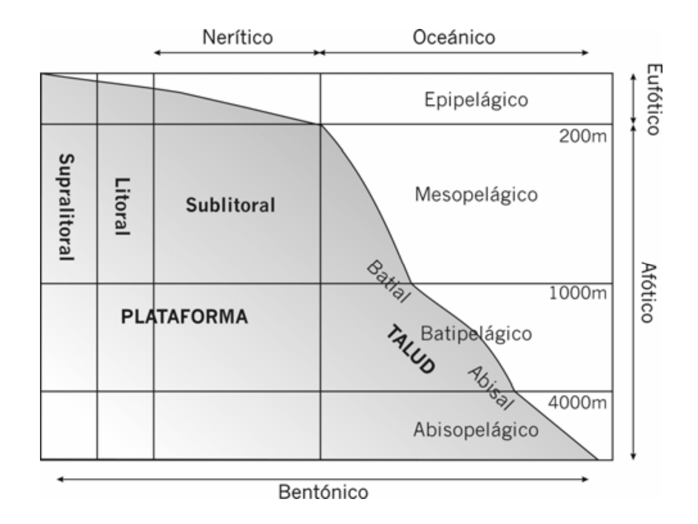


Fig. 8–16: Zonificación de los ambientes marinos.

En los mares las algas son predominantes, se presentan todas las formas de organización, desde algas unicelulares flotando libremente en el plancton, hasta algas talosas que pueden ser fácilmente confundidas con plantas superiores, cerca de las orillas y en los lugares poco profundos.

POBLACIONES Y COMUNIDADES

Las plantas, al igual que la mayoría de los seres vivos, no viven de manera individual, aislados de otros individuos de su misma especie o de otras especies. Las especies se agrupan entre ellas mismas formando **poblaciones** (Fig. 8–17), y éstas con otras especies formando **comunidades** (Fig. 8–18).

El estudio de las poblaciones y las comunidades es un poco más complejo que el de organismo–ambiente porque existe una serie de relaciones complejas entre los individuos.



Fig. 8–17: Una población del género *Opuntia* en su hábitat característico.

El estudio de la ecología de poblaciones y comunidades considera varios procesos, como ser los nacimientos, muertes, migraciones, reproducción y desarrollo. Estos procesos deben considerarse para entender el comportamiento de una población en un determinado espacio. Todos estos procesos son dinámicos y varían en el tiempo, llevando a las poblaciones a una estabilidad, a un crecimiento o a la extinción (Smith & Smith 2001).

Tamaño poblacional

Al estudiar una población, lo primero que debemos conocer de ella es la densidad poblacional o tamaño poblacional, es decir, el número de individuos que la



Fig. 8–18: Una comunidad vegetal, formada por varias poblaciones interactuando.

componen. La densidad poblacional se ve afectada por cuatro factores principales: las muertes, los nacimientos, las emigraciones y las inmigraciones (Fig. 8–19). Las muertes y las emigraciones disminuyen la densidad poblacional, ya que significan una pérdida de individuos, mientras que los nacimientos y la inmigración aumentan el número de individuos.

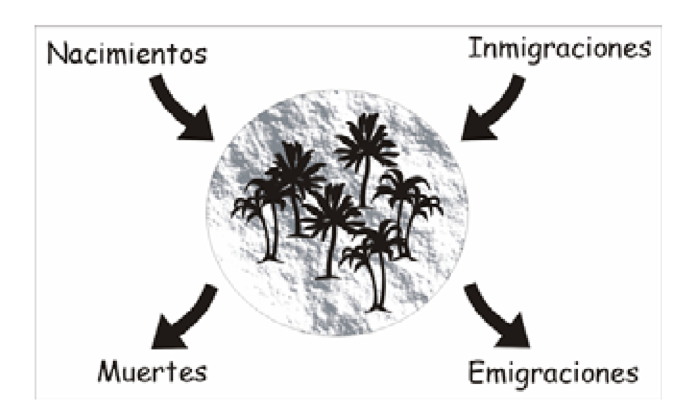


Fig. 8–19: Factores que afectan la densidad poblacional.

La densidad poblacional es un parámetro muy variable, que se ve afectado principalmente por los factores que ya vimos, pero hay que imaginarse a las poblaciones como un sistema sumamente dinámico, y cuya densidad depende de muchas otras condiciones. El número de individuos de una población está condicionado a muchas otras cosas, una de las más importantes es el ambiente, que influye directamente en la cantidad de individuos, ya que condiciones favorables contribuirán a aumentar el número de nacimientos, y condiciones desfavorables serán responsables de una mayor mortalidad o puede ser la causa para que se den emigraciones.

El tamaño poblacional se puede determinar por diversos métodos. Puesto que las poblaciones vegetales son sésiles, en muchos casos se puede realizar un censo poblacional, es decir, contar a todos los individuos de un área de estudio que nos interesa. Ahora bien, si esta área fuera demasiado grande, o por otras razones no fuera posible hacer un censo, deberá hacerse un muestreo, y estimar el tamaño de la población por estadísticas. Uno de los métodos más empleados para este propósito, consiste en dividir el área de estudio en cuadrantes iguales, y tomar algunos cuadrantes al azar, que serán a muestra (esta muestra debe cumplir con ciertos requisitos estadísticos, para que los resultados puedan ser considerados válidos), se cuenta el número de individuos en cada cuadrante, se toma el valor promedio y se extrapola este dato al área total.

El tamaño de una población también se ve regulado por la competencia, la depredación y el parasitismo. La competencia puede darse entre individuos de la misma especie (competencia intraespecífica) o entre individuos de diferentes especies (competencia interespecífica). Los principales depredadores de las plantas son los vertebrados herbívoros y muchos insectos, los insectos también son los principales parásitos de las plantas.

Dispersión

La dispersión es una característica que diferencia a los seres vivos en dos grupos: los que se pueden dispersar y los que no tienen esta capacidad. Los organismos capaces de dispersarse tienen mayor probabilidad de sobrevivencia, ya que son capaces de buscar otros ambientes donde habitar una vez que su hábitat no puede abastecer a una población demasiado grande (el ambiente está saturado) o las condiciones de éste han cambiado y ya no son propicias para su desarrollo.

Los organismos no dispersivos, en cambio, están condicionados a los cambios que puedan ocurrir en el ambiente y el tamaño poblacional se halla condicionado por una saturación del ambiente, es decir, el ambiente es capaz de sostener únicamente a un determinado número de individuos, a este límite se lo conoce como **capacidad de carga**, la cual se verá más adelante, cuando se trate el modelo logístico de crecimiento.

Si es que existe un cambio ambiental brusco, y los organismos no son dispersivos, entonces están condenados a morir, puesto que un proceso evolutivo que les permita adaptarse a las nuevas condiciones tomaría de varios miles a millones de años.

Los organismos no dispersivos tienden a evolucionar a una estrategia dispersiva que les permita colonizar nuevos ambientes, y de esta manera asegurar su supervivencia. También se han dado casos en los cuales una población dispersiva se asienta en un ambiente con condiciones cercanas a las ideales y permanece tanto tiempo ahí que llega a “perder” su carácter dispersivo.

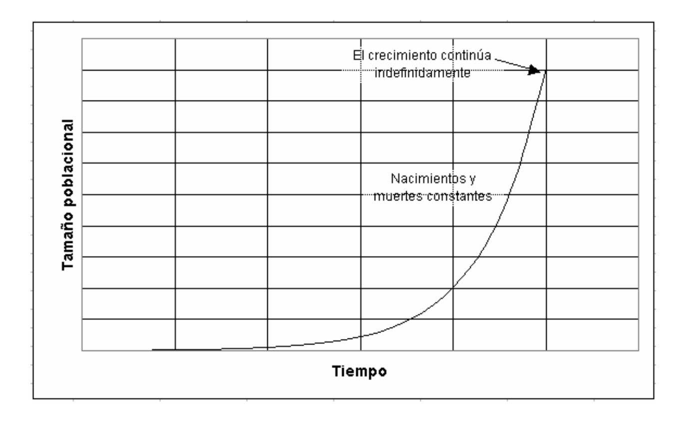


Fig. 8–20: Curva típica del crecimiento exponencial. Nótese que el crecimiento es continuo y aumenta con el tamaño poblacional.

Modelos matemáticos que explican el crecimiento

Los ecólogos han desarrollado dos tipos de modelos matemáticos para explicar el crecimiento de las poblaciones: los modelos determinísticos y los no determinísticos (Krebs 1985).

Los modelos determinísticos o robustos son dos: el modelo exponencial y el modelo logístico, los cuales explican el crecimiento asumiendo un medio ilimitado y un medio con limitaciones, respectivamente.

Modelo exponencial. El modelo exponencial de crecimiento asume que el ambiente y los recursos son ilimitados y que los organismos pueden crecer indefinidamente (Fig. 8–20). Este modelo explica el crecimiento de algunas malezas que crecen indefinidamente y su crecimiento sólo se ve frenado por el clima y fenómenos metereológicos.

Modelo logístico. El modelo logístico, en cambio, asume que el ambiente y los recursos tienen un límite, el cual se conoce como **capacidad de carga** (K). La capacidad de carga es el número máximo de individuos que puede sostener un ambiente. Por ejemplo, si tenemos un vivero donde caben 100 macetas, la capacidad de carga de ese ambiente será K=100, por lo tanto en ese ambiente se podrá tener como máximo 100 plantas (asumiendo que cada una va en una maceta aparte). Si se introducen al vivero 20 plantas éstas pueden desarrollar sin ningún problema, pero si se introducen 150 plantas, no habrá suficiente espacio, agua y abonos, y varias plantas irán muriendo, hasta que queden aproximadamente 100.

El modelo logístico describe una curva de tipo sigmoide (Fig. 8–21), es decir, en forma de una S estilizada. Esta curva nos muestra que cuando tenemos pocos individuos en la población el crecimiento es bajo, a medida que crece la población el crecimiento se acelera y se hace exponencial, pero cuando el tamaño poblacional se hace mas grande este crecimiento se frena, hasta llegar a detenerse cuando se alcanza la capacidad de carga: el número de individuos se vuelve constante (Krebs 1985, Smith & Smith 2001).

Ahora bien, los modelos no determinísticos o estocásticos, son el resultado de introducir probabilidades a los dos modelos anteriores. Tanto el modelo logístico como el modelo exponencial, describen sucesos ordenados, es decir, que asumen que la natalidad y la mortalidad son sucesos “planificados”. Los modelos estocásticos, en cambio, consideran la probabilidad de estos sucesos, considerando variaciones debidas a múltiples factores.

En la actualidad existen programas informáticos que pueden simular estos modelos de crecimiento. Uno de los más utilizados es Populus, el cual se encuentra para descargar gratuitamente en la página de la Universidad de Minnesota: http://www.cbs.umn.edu/populus/.

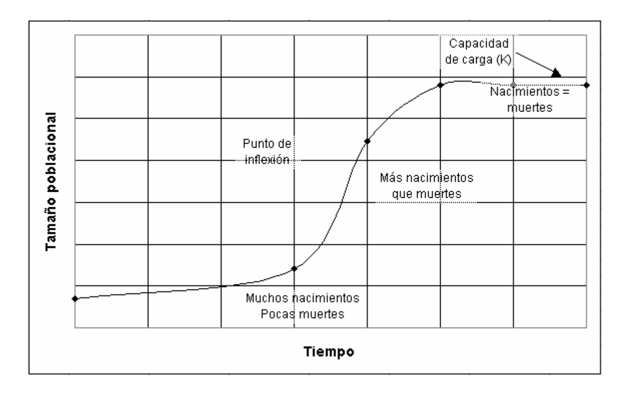


Fig. 8–21: Curva típica del modelo logístico. En las diferentes etapas del crecimiento poblacional se señala la cantidad de nacimientos comparada con la de muertes, además se señala el punto de inflexión de la curva y la capacidad de carga.

Comunidades

En este capítulo se verá solamente una introducción a lo que es la ecología de comunidades, puesto que el tema es amplio y complejo y va más allá del objetivo de este libro, de todas maneras, la literatura recomendada al final amplía esta información.

Las comunidades no son sólo el conjunto de poblaciones que habitan en un mismo espacio y tiempo, sino que una comunidad ecológica es la suma del medio, las poblaciones y las interacciones que ocurren entre éstas.

En las comunidades se distinguen dos características fundamentales, la **riqueza** que expresa cuántas especies diferentes existen en la comunidad, y también la **diversidad**, que mide el grado de equitatividad de las diferentes especies, es decir, en qué proporción se encuentra cada una. Se dice que mientras más equitativa es una comunidad es más diversa, por ejemplo, una comunidad donde existen 5 especies y cada una representa un 20% de la comunidad es más equitativa –y por lo tanto diversa– que una donde la especie 1 representa el 80% y las cuatro restantes el 20%.

Existen diversos métodos para caracterizar las comunidades, pero lo usual es hacer esta caracterización en función a la vegetación, puesto que ésta es sésil y además refleja las condiciones del medio, por ejemplo, una selva con una gran cantidad de árboles refleja un clima húmedo, mientras que en un desierto, la aridez se evidencia por la presencia de cactus. Esta caracterización se la hace en función a la **estructura de la vegetación**, que veremos a detalle más adelante.

Ecología microbiana

El estudio de la ecología de los microorganismos es relativamente nuevo, de acuerdo con Atlas & Bartha (2002), si bien su estudio comenzó formalmente en la década de 1960, es recién a partir de 1990 que esta nueva disciplina adquiere fuerza y suma una importante cantidad de científicos en sus filas.

Los microorganismos juegan un papel fundamental en el ecosistema, ya que éstos en conjunto –formando que denominamos comunidad microbiana– se encargan de la movilización, transformación, modificación y reciclaje de la materia en el ambiente, ya que son el eje motor de los ciclos biogeoquímicos. Los vegetales dependen en gran medida de los microorganismos ya que éstos les proporcionan la materia nutritiva que necesitan, o inclusive, algunos grupos como *Rhizobium* o las micorrizas llegan a formar asociaciones simbióticas con las raíces de plantas, a las que aportan nitrógeno y fósforo (respectivamente) “a cambio” de soporte, protección y agua.

DINÁMICA DE LOS ECOSISTEMAS

Un ecosistema es un sistema complejo y abierto, es decir, que tiene flujo de materia y energía. Ahora bien, uno de los principales problemas que se encuentra al estudiar un ecosistema es definir las fronteras del mismo, pero se pueden usar parámetros relativos para delimitar un ecosistema.

Al ser el ecosistema un sistema con flujo constante de materia y energía, describe una dinámica de funcionamiento muy particular, puesto que de ella depende el equilibrio y la estabilidad, ya que los ecosistemas son volubles y frágiles. Esta dinámica se puede observar a nivel del ecosistema en las **pirámides tróficas**, los **flujos de materia y energía** y la **sucesión ecológica**. Estos son procesos de vital importancia para la subsistencia de los ecosistemas, y los veremos a detalle a continuación.

Pirámides y redes tróficas

Una característica común de todos los organismos vivos en un ecosistema es la necesidad de alimentarse, pero la forma en la que consiguen este alimento es variable de acuerdo al grupo. Las plantas y muchas bacterias consiguen su alimento del CO_2 del aire y la luz solar, mediante el proceso de fotosíntesis (ver *Capítulo 4*) y por ello reciben la denominación de productores primarios, ya que son los únicos que pueden generar su propio alimento utilizando una fuente de energía abiótica, como el sol. Algunos vegetales, algunos microorganismos y todos los animales no son capaces de sintetizar sus propios nutrientes utilizando energía lumínica, y por ello deben adquirirla de los productores primarios, por ello este grupo se denomina de manera general consumidores, distinguiéndose categorías de consumidores: los consumidores primarios son aquellos que se alimentan de los productores, los consumidores secundarios se alimentan de los primarios, y los terciarios de los primarios y/o secundarios.

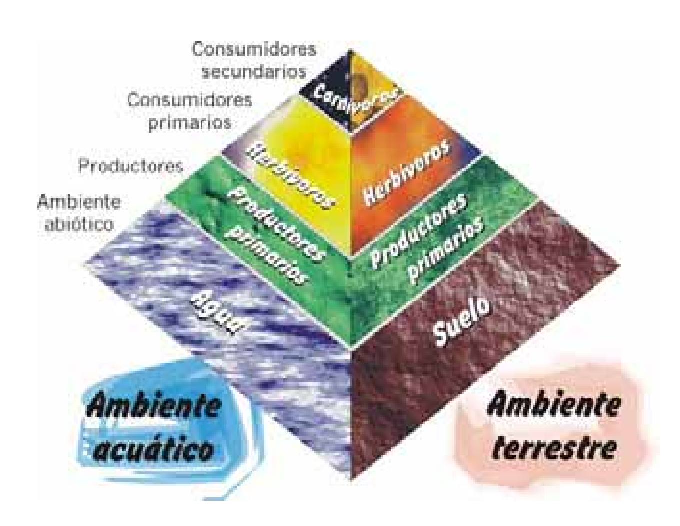


Fig. 8–22: Pirámide trófica generalizada para ambientes acuáticos y terrestres.

La reunión de los productores y los consumidores nos da como resultado una compleja interacción alimenticia que se denomina **pirámide** o **red trófica** (Fig. 8–22), en la cual unos se comen a los otros, y a su vez son consumidos por terceros. Es sencillo pensar en un ejemplo de una cadena trófica, imaginemos una pradera, donde los pastos son los productores primarios, este pasto es consumido por el ganado vacuno (consumidor primario) y a su vez los vacunos son consumidos por los carnívoros (consumidores secundarios).

Otra parte fundamental de las redes tróficas con los **descomponedores**, que normalmente son hongos y bacterias, que se encargan de degradar los restos de plantas y animales muertos a sustancias simples, para que éstas puedan volver a ser usadas, y de esta manera mantienen un flujo de materia. Se dice que un ecosistema es completo cuando posee productores primarios y descomponedores, puesto que éstos son los componentes imprescindibles para el reciclaje de material (Villee et al. 1992).

Viendo la Fig. 8–22 se ve claramente que existe una diferencia de biomasa en los diferentes escalones de la pirámide trófica, los productores primarios tienen mayor biomasa que los consumidores, y a su vez los consumidores primarios tienen más biomasa que los secundarios. Este fenómeno se entiende en función a las necesidades alimenticias de cada estrato, ya que para que un carnívoro consuma un kilo de carne de un herbívoro, éste tuvo que comer varios kilos de vegetales para lograr ese kilo de biomasa, entonces, vemos que este gradiente de volumen es el que mantiene las pirámides tróficas estables.

Se ha visto que la estabilidad de las cadenas tróficas condiciona de cierta manera la diversidad de los ecosistemas, se han hecho numerosos experimentos en los cuales se han eliminado a los predadores (máximos consumidores) o a los productores primarios de una red trófica, y al cabo de un tiempo la diversidad del ecosistema se vio drásticamente reducida, porque al haber una falta de control por parte de los extremos, una de las especies de la pirámide tiende a dominar y a acabar con gran parte de la diversidad (Pace et al. 1999).

Flujo de energía

"La materia y la energía no se crean ni se destruyen, sólo se transforman". Este principio de la física se aplica en la naturaleza y es la base fundamental de la concepción de los flujos de energía entre los distintos niveles de las cadenas tróficas: una transformación continua (Fig. 8–23).

La energía del sol (energía lumínica) es utilizada por las plantas y transformada a energía química. Esta energía química fluye hacia los consumidores primarios y a los consumidores secundarios, consecuentemente. Una vez que los productores y los consumidores mueren, esta energía fluye hacia

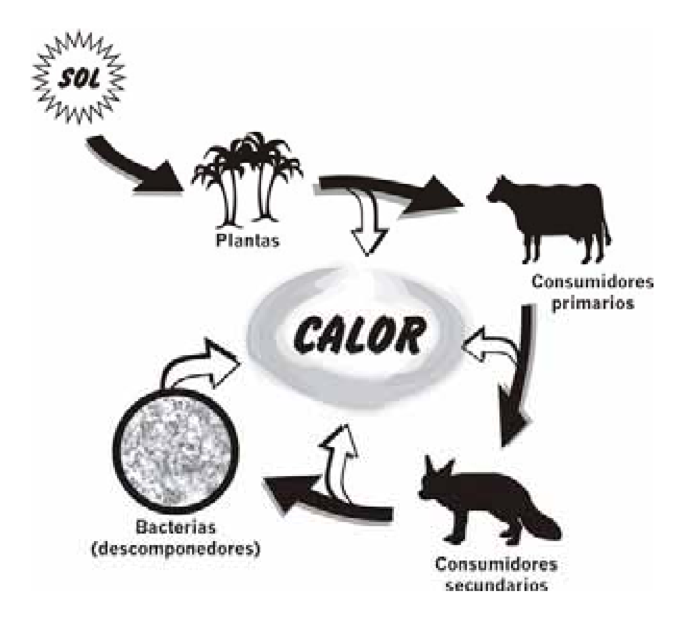


Fig. 8–23: El flujo de energía entre los seres vivos tiene varios caminos por los cuales la energía se transforma y parte de ella se pierde como calor. Las flechas negras indican flujo de energía y las flechas blancas pérdida.

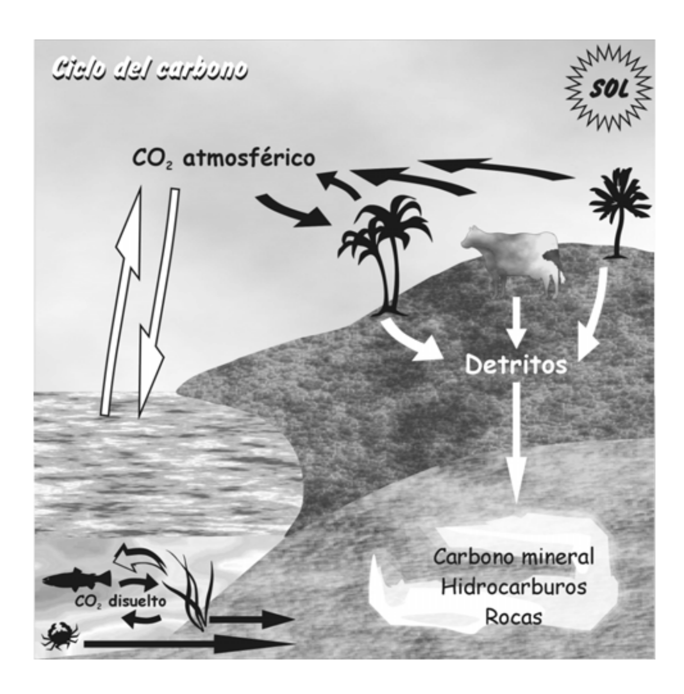


Fig. 8–24: Ciclo del carbono. El esquema muestra los flujos del carbono entre los seres vivos y el ambiente y entre los mismos seres vivos. Una de las principales formas de movilización del carbono es el dióxido de carbono.

los descomponedores, los cuales vuelven a aportar esta energía a los demás miembros del ecosistema.

Este flujo de energía, sin embargo, no es conservativo entre los seres vivos, puesto que existe una porción de esta energía que se disipa como calor y no puede volver a ser utilizada para realizar algún trabajo, a esta energía no utilizable se la ha denominado **entropía**. La entropía también puede ser entendida como el grado de desorden de un sistema, puesto que la energía invertida en un trabajo no se recupera del todo, y contribuye a aumentar la entropía o desorden del universo (Villee et al. 1992).

Ciclos biogeoquímicos

Puesto que la materia tampoco se crea ni se destruye, ésta fluye en ciclos de continua transformación. Estos ciclos se cumplen para toda la materia biológica y explican cómo se da el reciclaje de productos y reactivos en los sistemas biológicos.

Si bien todos los elementos biológicos cumplen ciclos, se han estudiado y explicado a detalle solamente una parte de ellos, por su importancia. Estos ciclos son el ciclo del carbono (Fig. 8–24), el ciclo del agua (Fig. 8–25), el ciclo del nitrógeno (Fig. 8–26) y el ciclo del fósforo (Fig. 8–27), algunos autores consideran además el ciclo del azufre entre los más importantes.

Se distinguen tres tipos de ciclos biogeoquímicos, de acuerdo al estadio en que la materia cambia de forma, éstos son: ciclos gaseosos, ciclos sedimentarios y el ciclo hidrológico. Entre los ciclos gaseosos están el ciclo del CO_2 (dióxido de carbono), del O_2 (oxígeno) y el N_2 (nitrógeno), entre los ciclos sedimentarios están el del fósforo y el del azufre (aunque este último tiene una etapa gaseosa), y finalmente el ciclo hidrológico o ciclo del agua, que se verá a continuación.

Ciclo del carbono. Como puede verse en la Fig. 8–24, el ciclo del carbono pasa por varias etapas, inicialmente es captado del aire en forma de CO_2 por las plantas, las cuales se encargan de transformarlo en azúcares, las cuales van a ir a aportar carbonos a todas las biomoléculas de la planta. Luego parte de este carbono pasa a los animales y es metabolizado, quedando parte en los tejidos, y eliminándose otra fracción como CO_2 al aire nuevamente. Los restos biológicos y cadáveres de plantas y animales se depositan en el suelo, donde son atacados por los descomponedores, quienes reducen estos desechos a CO_2 y formas simples del carbono, que pueden ser aprovechadas nuevamente.

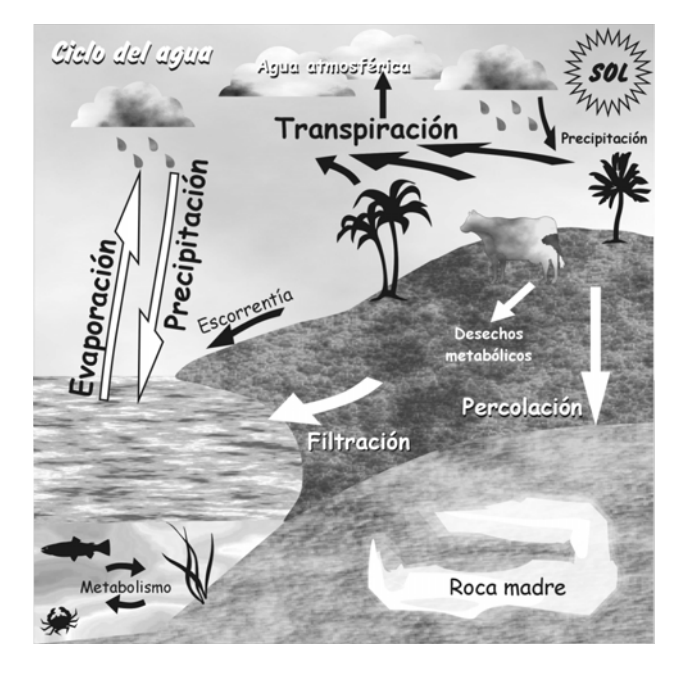


Fig. 8–25: Ciclo de agua. El esquema muestra del paso del agua de los organismos vivos a la atmósfera y al sustrato, así como el papel del metabolismo y la evaporación en el reciclaje de esta sustancia.

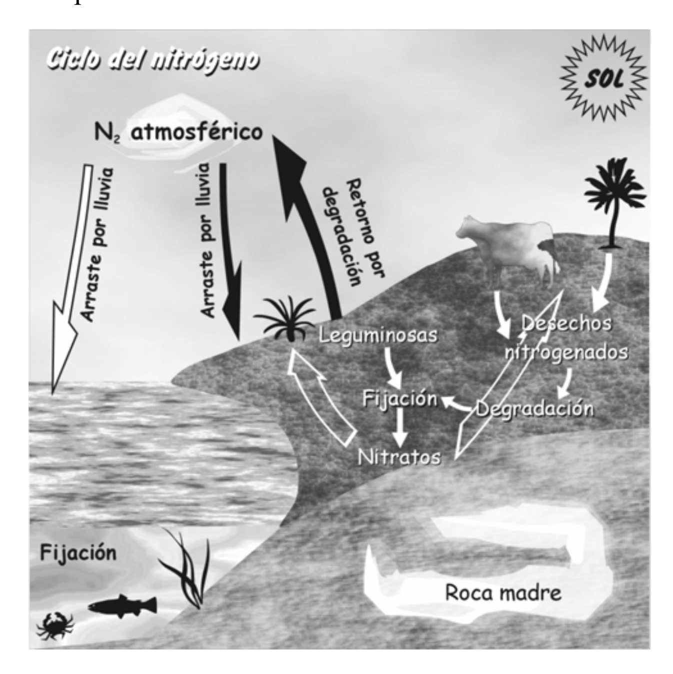


Fig. 8–26: Ciclo del nitrógeno. El esquema muestra el flujo de nitrógeno atmosférico (N_2) a nitratos, aprovechables por plantas y animales. Además se incluye la fijación de nitrógeno, mediada por bacterias especializadas y las leguminosas.

Ciclo del oxígeno. Este ciclo es bastante sencillo, puesto que fluye entre plantas y animales gracias a los procesos de respiración y fotosíntesis, ya que los animales consumen oxígeno y despiden CO_2, y este CO_2 es aprovechado por las plantas para producir oxígeno.

Ciclo del agua. La Fig. 8–25 nos muestra esquemáticamente los múltiples caminos del agua en el ciclo hidrológico. El agua líquida pasa a estado gaseoso por evaporación de los cuerpos de agua y la transpiración de los organismos vivos, y se condensa en la atmósfera en forma de nubes y humedad, una vez que esta condensación alcanza determinadas condiciones, se produce la precipitación (lluvia) que devuelve el agua en estado líquido a la superficie, parte de esta agua vuelve a los cuerpos de agua, y otra parte se va en escurrimientos, filtración y precolación. Esta agua es nuevamente aprovechada por los organismos vivos e incorporada a sus tejidos, para volver a comenzar el ciclo.

Ciclo del nitrógeno. El nitrógeno atmosférico no es utilizable directamente por las plantas, sino que debe pasar un proceso de transformación por medio de bacterias específicas, las cuales lo convierten en nitratos, aprovechables por las plantas y los animales obtienen este nitrógeno de las plantas. Los desechos de plantas y animales poseen nitrógeno, y al depositarse en el suelo van sufriendo descomposición por parte de bacterias, que lo devuelven a la atmósfera o al suelo para volver a ser aprovechado. Un esquema de este proceso se muestra en la Fig. 8–26.

Ciclo del fósforo. El esquema de la Fig. 8–27 nos muestra a grandes rasgos qué sucede en este ciclo, un tanto más complejo. El fósforo inorgánico es tomado de los minerales y transformado en fosfatos por acción de bacterias, estos fosfatos pueden ser aprovechados por plantas y animales, y son devueltos al medio en sus desechos, y pueden volver a ser aprovechados. La diferencia de este ciclo con los anteriores, es que los fosfatos pueden provenir de este reciclaje o de fuentes minerales.

Sucesión ecológica

Sucesión ecológica se entiende como el continuo cambio que van sufriendo los ecosistemas, a nivel de las comunidades, para pasar de una forma simple a una forma de equilibrio o clímax.

Vimos en las secciones anteriores que en los ecosistemas existen flujos de materia y energía, los

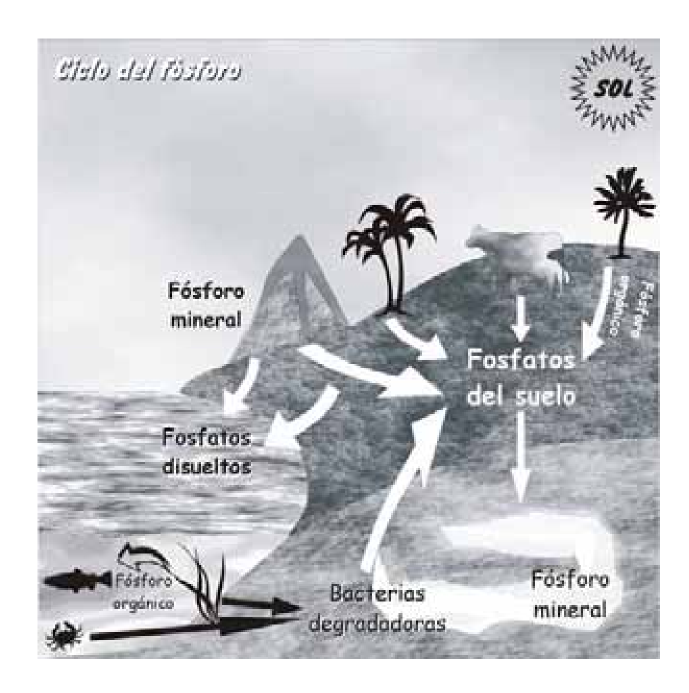


Fig. 8–27: Ciclo del fósforo. El esquema muestra el flujo de este mineral, entre los seres vivos y el ambiente. Este es un ciclo abierto pues existe un aporte no cíclico de fosfatos proveniente del fósforo mineral.

cuales pueden ser mejor entendidos mediante la sucesión ecológica. Estos flujos de materia se traducen en la aparición y extinción continua de especies con una dirección marcada, la cual es independiente de las estaciones, y va de comunidades simples a comunidades clímax o de equilibrio más complejas.

Es por este proceso que no encontramos las mismas especies en un mismo ecosistema al cabo de un tiempo, por ejemplo, si se comparan censos vegetales de una determinada localidad de hace 10 años atrás y actuales, veremos que la composición de especies varía considerablemente, puesto que los ecosistemas varían constantemente y las especies con ellos.

ESTRUCTURA DE LAS POBLACIONES VEGETALES

El conocer la estructura vegetal, es una herramienta imprescindible para el estudio botánico y ecológico, puesto que las comunidades, los ecosistemas y los biomas se caracterizan en base a la vegetación. Esta caracterización se la hace en base a las formas de vida, a distribución vertical y la distribución horizontal, pudiendo ser consideradas además algunas especies indicadoras de interés (Krebs 1985, Smith & Smith 2001).

Formas de vida

Una primera caracterización de la estructura vegetal se la hace en función a las formas de vida, es decir; si dominan las plantas leñosas, arbustivas o herbáceas; el tamaño de las mismas; la forma y tamaño de hojas y raíces; y la cobertura vegetal.

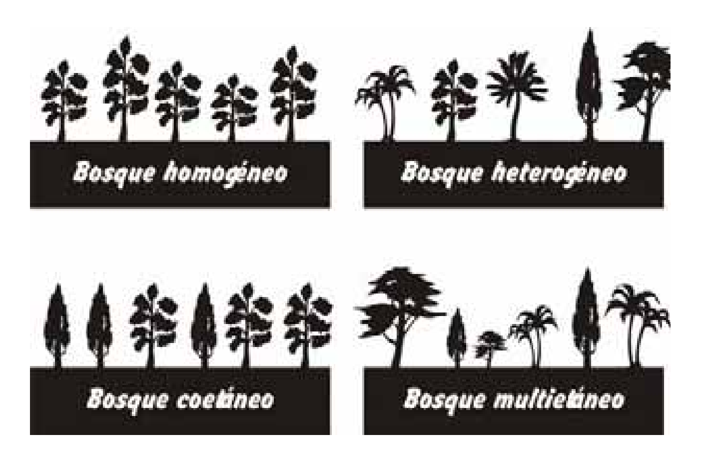


Fig. 8–28: Tipos de formación vegetal. La clasificación de la parte superior está realizada en base a homogeneidad de especies, y la de la parte inferior a la edad.

Esta caracterización permite dar una denominación inicial al sitio de estudio, por ejemplo, si dominan los árboles medianos diremos que se trata de un bosque templado, y si dominan grandes herbáceas se tratará de una pradera.

Ya una caracterización más fina se hace mediante las distribuciones vertical y horizontal.

Distribución vertical

La distribución vegetal está referida a los estratos que forma la vegetación en un determinado hábitat. Esta estratificación está directamente relacionada con la dinámica y las formas de vida de las poblaciones vegetales.

Los estratos se forman en función a una determinada condición ambiental, que puede ser luz, humedad, pH, temperatura, etc. Por ejemplo, en un bosque tropical se producen varios estratos en función a la incidencia de la luz sobre las hojas, los árboles más altos reciben grandes cantidades de luz, mientras que las plántulas y las hierbas pequeñas que están en el suelo, reciben menos del 1% de la radiación solar total.

La principal división de los estratos, distingue tres niveles de verticales: el **dosel**, el **subdosel** y el **sotobosque**, siendo el dosel el más alto y el sotobosque el que está a nivel o cerca al nivel del suelo. Entre estos tres estratos principales pueden existir varios estratos intermedios, que se definen en función al ambiente y al estudio en el que se esté trabajando.

Distribución horizontal

La distribución horizontal de la vegetación es un parámetro de suma importancia, puesto que comprende los estudios dimensionales, como ser el tamaño, la forma y el DAP (diámetro a la altura del pecho) de las diferentes especies. Esta distribución sirve para la determinación de la frecuencia de las especies, y puede ser usada como un estimador de la densidad poblacional.

En la Fig. 8–28 se observan las posibles combinaciones de la distribución horizontal en un

bosque. En el primer caso, se tiene un bosque homogéneo, que está compuesto en un 80% o más por individuos de la misma especie, en el segundo caso vemos un bosque heterogéneo, formado por varias especies. Luego vemos un bosque coetáneo, es decir, que la mayoría de los individuos tienen la misma edad, mientras que en el otro caso, el bosque multietáneo presenta individuos de diferentes edades. En la naturaleza se presentan combinaciones de estas condiciones, como ser un bosque homogéneo multietano, o un bosque heterogéneo coetano.

Especies indicadoras

Actualmente el uso de especies indicadoras para la caracterización de ambientes es una práctica usual, y en muchos casos resulta práctico y arroja buenos resultados.

Una especie indicadora es aquella que varía fuertemente su frecuencia y densidad frente a determinadas condiciones. Por ejemplo, la quenopodiácea *Atriplex* sp. se presenta en suelos secos con un alto grado de salinidad, entonces si la usamos como especie indicadora, una elevada densidad de la misma nos sugiere que el suelo en el sitio de estudio es muy salino.

Las especies indicadoras están siendo usadas en la actualidad para estimar el grado de contaminación, el impacto de las industrias, las minas o los pozos petroleros, y también se usan para ver los efectos del cambio global y el efecto invernadero, ya que al aumentar la temperatura crecen plantas que antes no se desarrollaban en determinadas áreas, y al aumentar la cantidad de CO_2 en el aire las plantas C_3 se ven favorecidas sobre las C_4 y CAM (para más información ver el *Capítulo 4*).

RELACIONES ECOLÓGICAS

Las relaciones ecológicas tratan las diferentes interacciones que se pueden dar entre los organismos. Se distinguen distintos niveles de interacción entre los organismos, los cuales se diferencian de acuerdo a cómo se ven afectadas las partes en la relación, pero también se puede hablar de una relación de las plantas con otras plantas, con los animales y con el hombre, citado aparte por ser un caso especial.

Interacciones ecológicas

En general, se distinguen 8 tipos de interacciones ecológicas, aunque esto puede variar de acuerdo a los diferentes autores. Estas interacciones, según Villee y colaboradores (1992) son el neutralismo, el mutualismo, la protocooperación, el comensalismo, el amensalismo, la depredación, el parasitismo y la competencia (Tabla 8–1).

Neutralismo. El neutralismo no es precisamente una interacción, mas bien es la falta de interacción entre los individuos. Se da neutralismo cuando ninguno de los organismos se perjudican o se benefician con la relación.

Mutualismo y protocooperación. En este caso, existe un beneficio mutuo para ambas partes de la relación. Uno de los más claros ejemplos es la simbiosis, en la

Tabla 8–1: Resumen de las interacciones ecológicas que se pueden dar entre dos especies 1 y 2. El símbolo "N" significa que no hay efecto, el símbolo "B" significa que existe un beneficio y el símbolo "P", un perjuicio para la especie en la interacción.

Interacción	***Especie 1 y 2***	***Comentarios***
Neutralismo	N y N	No existe efecto directo o interacción
Competencia	P y P	Ambas se perjudican
Depredación	B y P	1 se alimenta de 2
Parasitismo	B y P	1 se alimenta de 2 pero éste no muere
Mutualismo	B y B	Beneficio mutuo y obligatorio
Protocooperación	B y B	Beneficio mutuo no obligatorio
Comensalismo	B y N	1 se beneficia y 2 no se afecta
Amensalismo	P y N	1 se perjudica y 2 no se afecta

cual dos especies viven juntas y ambas se benefician de la relación. El ejemplo más claro de esto son los líquenes, una simbiosis de un alga y un hongo: el alga obtiene humedad y sustrato por parte del hongo, mientras que el hongo obtiene alimento del alga.

El mutualismo se diferencia de la protocooperación en función a la obligatoriedad de la relación. Una relación de mutualismo, como la simbiosis, es de tipo obligatorio, ya que los individuos no pueden vivir por separado –como en el caso de los líquenes (Fig. 8–29), en cambio en la protocooperación los individuos pueden dejar de estar relacionados, es decir, la relación no es obligatoria.



Fig. 8-29: Los líquenes son un buen ejemplo de mutualismo, ya que su gran éxito como organismos pioneros se lo deben a su estrecha e inseparable interacción.

Comensalismo y amensalismo. Estos dos tipos de relación de caracterizan por tener una parte que se afecta y otra que no se afecta. En el comensalismo, una de las partes se afecta positivamente (se beneficia) mientras que a la otra la relación le es indiferente (no se perjudica ni se beneficia). En el caso del amensalismo, una de las partes se afecta negativamente (se perjudica), mientras que a la otra le es indiferente.

Depredación y parasitismo. La depredación y el parasitismo se caracterizan porque una de las partes (el depredador o el parásito) se benefician a costa del perjuicio de la otra parte (la presa o el huésped).

La depredación se diferencia del parasitismo en un aspecto fundamental: el depredador mata a su presa, mientras que el parásito mantiene viva a su víctima (por lo menos por un tiempo) para aprovecharse de ella.

Estas dos interacciones, junto con la competencia, se encargan de regular el tamaño de las poblaciones, ya que si los individuos no tuvieran enemigos naturales, crecerían a un mayor ritmo, saturando los ambientes.

Los herbívoros (Fig. 8–30) son los principales depredadores de las plantas, pero usualmente éstos no llegan a matar a la planta, solamente ingieren una parte de ella, aunque existen animales que se comen a la planta entera. Los principales depredadores herbívoros son muchos vertebrados, muchos insectos y algunos otros invertebrados, como los moluscos.



Fig. 8–30: Dos herbívoros de la especie *Lama glama* comiendo hierba en la orilla de una pequeña laguna (fotografía: Isabel Fontúrbel).

Los principales parásitos de las plantas son los insectos, que se introducen en los tejidos vegetales para alimentarse de ellos, produciendo **agallas** (Fig. 8–31).

Competencia. La competencia es una relación negativa para ambas partes, puesto que al competir por un mismo recurso, las dos partes resultan perjudicadas.

El freno de crecimiento que vimos en el modelo logístico se debe en buena medida a la competencia, ya que al incrementarse el número de individuos de una población los recursos se van haciendo cada vez más escasos y los individuos deben competir por ellos. La competencia puede ser **intraespecífica** (entre individuos de la misma especie) o **interespecífica** (entre individuos de diferentes especies).

Las plantas suelen competir por espacio, cantidad de



Fig. 8–31: Los insectos parásitos que ponen sus huevos en las hojas de esta planta de *Baccharis pentlandii.* Han provocado la formación de numerosas agallas en esta planta (ver las flechas).

luz, cantidad de agua y nutrientes fundamentalmente, pero si analizamos un caso particular a profundidad veremos que existen otros recursos aparte de éstos que pueden originar competencia.

Para entender la competencia entre plantas, veamos algunos ejemplos: en un bosque tropical (Fig. 8–32), la cantidad y diversidad de plantas por unidad de área es elevada, por ello estas plantas compiten por el espacio y la luz (las más grandes hacen sombra a las pequeñas), pero en este caso el agua no suele ser un recurso limitado, dado que el lugar es muy húmedo. Ahora pensemos en una pampa altiplánica, en este caso los individuos difícilmente compiten por espacio ya que no hay una elevada densidad, y la competencia por luz es prácticamente nula puesto que son organismos de poca altura y se encuentran lo suficientemente dispersos como para hacerse sombra; en el altiplano (Fig. 8–33), sin embargo las plantas competirán por el agua, ya que el lugar es muy seco y las lluvias son escasas.

Relaciones entre plantas y otros organismos vivos

Como ya vimos, existen varias interacciones que pueden existir entre los seres vivos, y las plantas se relacionan de diferente manera con otras plantas y con los animales. Además consideramos la relación de la plantas con el hombre por ser un caso especial.

Relación planta–planta. Entre las plantas, ya sean éstas de la misma o de diferentes especies, se dan varias interacciones. Una de las más importantes es la **competencia**, cuando dos o más individuos compiten por un recurso común y resultan perjudicadas. Esta competencia es intraespecífica si se da entre individuos de la misma especie, e interespecífica si se da entre individuos de diferentes especies.

En las plantas prácticamente no se da depredación, puesto que la mayoría son individuos sésiles y autótrofos, pero lo que si se observa con frecuencia es **parasitismo**, un claro ejemplo de parasitismo entre plantas son las epífitas que crecen sobre otras plantas e introducen las raíces en sus tejidos para aprovechar los nutrientes del huésped, una familia de epífitas parásitas son las Lorantáceas.

Otra de las relaciones interesantes entre plantas es la **simbiosis**, y el ejemplo clásico de esto son las algas y los hongos, para la formación de los líquenes.

Relación planta–animal. Las plantas y los animales han tenido una estrecha relación desde la aparición de los mismos sobre el planeta. Entre estos dos grupos se dan todas las relaciones ecológicas que



Fig. 8–32: Un bosque tropical posee una mayor diversidad, pero también presenta una mayor competencia por la luz y el espacio (fotografía: Rosember Hurtado).

vimos anteriormente (Moraes 1994), pero detallaremos sólo algunas de estas relaciones, por su importancia.

La **depredación** de las plantas por parte de los animales se conoce como **herbivoría**, y desde hace millones de años esto ha desatado una “carrera armamentista” entre ambos grupos: las plantas eliminan sustancias tóxicas para ahuyentar a los depredadores y éstos se hacen resistentes, las plantas generan estructuras de protección, tales como pelos urticantes o espinas y los animales desarrollan adaptaciones para seguir consumiendo sus tejidos... en fin, al parecer esta carrera armamentista está determinada por un proceso de coevolución, que lleva bien a una constante agresión por ambas partes, o a un cambio de estrategia para obtener beneficios (Fontúrbel & Mondaca 2000).

El parasitismo animal también afecta a las plantas e incluso puede conducir a su muerte a largo plazo. Existen varios ejemplos de este parasitismo, como las agallas de insectos en las hojas, o las larvas de mariposa sobre los pinos, las cuales producen un fuerte deterioro de la planta.



Fig. 8–33: En un ecosistema como el del altiplano, existe menos riqueza de especies pero también menos competencia.

La simbiosis y el mutualismo entre plantas y animales es un tema que ha dejado perplejos a los biólogos por muchos años, puesto que estas interacciones son tan finas y precisas, que a veces resultan difíciles de explicar. La polinización y la dispersión de semillas son el ejemplo más claro de este tipo de relación de beneficio mutuo. Ambos procesos se describen a detalle más adelante.

Relación planta–hombre. Si bien la relación planta–hombre es un tipo de relación planta–animal, se la ha separado por ser un caso especial.

El hombre practica todos los tipos de interacción ecológica con las plantas, con excepción del parasitismo. Desde que las culturas antiguas empezaron a practicar la agricultura, el hombre ha influenciado mucho sobre las plantas y éstas han influenciado a su vez sobre muchos aspectos socioculturales del mismo.

El ser humano es uno de los más grandes –si es que no el más grande– depredador y explotador de las plantas, pero también es un importante dispersor de semillas.

Si se tuviesen en cuenta estrategias de manejo sostenible y conservación, la relación del hombre con las plantas seguro que sería menos destructiva, pero lamentablemente no se han tomando en cuenta estos aspectos, y se han llevado a cientos de especies a la extinción, se han modificado ecosistemas naturales para convertirlos en agroecosistemas, normalmente con monocultivos, que van destruyendo paulatinamente los hábitat y reduciendo la diversidad.

La influencia de las plantas sobre la cultura humana es de suma importancia, fue gracias al descubrimiento de la agricultura que los grupos humanos pasaron de ser nómadas a ser sedentarios, las plantas cambiaron los hábitos alimenticios y se convirtieron en parte importante de la vida diaria y los ritos. Incluso, si detienes un minuto la lectura de este párrafo y ves el libro que tienes en tus manos te darás cuenta de algo especial: este libro trata de las plantas, el papel sobre el que está impreso salió de un árbol, y parte de la tinta es de origen vegetal. De no haber sido por el papel y las tintas vegetales, el hombre no hubiese podido compartir y pasar su conocimiento de generación a generación, y las cosas serían muy distintas hoy en día si no existiese esta relación tan estrecha entre plantas y humanos.

POLINIZACIÓN

La reproducción es el medio de perpetuar la especie, pero para que en las plantas con semillas (Gimnospermas y Angiospermas) ocurra la fecundación que dará origen a los nuevos individuos, es necesario que el polen pueda llegar al ovario. Este proceso por el cual el polen llega a fecundar el óvulo se denomina **polinización**.

Las flores de las angiospermas son "perfectas", si llevan tanto gametos femeninos como masculinos. Las anteras son los órganos que contienen a los gametos masculinos (granos de polen) y los ovarios contienen a los gametos femeninos (óvulos). Las flores "imperfectas" son aquellas que solamente llevan o gametos femeninos o gametos masculinos, esto se debe a si la planta es dioica (sexos separados) o monoica (ambos sexos juntos) (Kimball 1984).

Las plantas con flores han desarrollado diferentes mecanismos para lograr que el polen sea transferido desde las anteras hasta el estigma (de la misma flor o al de una flor diferente). Estos mecanismos pueden implicar factores abióticos o bióticos.

Polinización por factores abióticos

Entre los factores abióticos encargados de la polinización, están el agua y el viento. Ambas son las formas más sencillas de polinización, dado que la flor no necesita valerse de recursos adicionales como en la polinización por factores bióticos, porque el polen es transportado simplemente por medio del viento y el agua (Villee et al. 1992).

Polinización hidrófila. Es aquella que se realiza gracias a la acción del agua. Normalmente se encuentra este tipo de polinización en las plantas acuáticas, en las cuales las flores tanto masculinas como femeninas permanecen sumergidas dentro el agua. Puesto que los granos de polen tienen el mismo peso específico del agua, son fácilmente transportados y dispersados por las corrientes, que se encargan de llevarlos hasta el estigma de las flores femeninas (Cuerda 1993).

Polinización anemófila. Es aquella que se da por la acción del viento. Este tipo de polinización se da en parte en las angiospermas, pero es más característica de las gimnospermas, que –al poseer flores muy simples (estróbilos) y no estar bajo el agua– dependen exclusivamente del viento, para que los granos de polen que salen de los estróbilos masculinos puedan fecundar a los óvulos de los estróbilos femeninos (Cuerda 1993).

Polinización por factores bióticos

Es aquella donde intervienen otros seres vivos: los animales. En esta relación, ambas partes resultan beneficiadas. La planta asegura la fecundación y el exocruzamiento genético, y los animales obtienen alimento (polen, néctar, tejidos, frutos), protección y sustrato para la reproducción. Los insectos, los murciélagos y las aves son los principales polinizadores, que llevan el polen de flor en flor (Villee et al. 1992).

Polinización entomófila. En este tipo de polinización intervienen diferentes especies de insectos (en especial las abejas y las mariposas). Entre la flor y el insecto polinizador existe una íntima relación, puesto que el insecto acude a la flor en busca de alimento (el néctar y a veces los pétalos), lleva el polen de flor en flor adherido a su cuerpo. Los insectos son atraídos por el color y el olor de las flores, pero como no llegan a completar su capacidad alimenticia con el néctar de una sola flor, pasan por muchas flores dejando y recogiendo polen, efectuando de esta manera un intercambio de los granos de polen entre los individuos de la misma especie (Cuerda 1993).

Las interacciones ecológicas para la polinización entre plantas e insectos se han discutido bastante en los últimos años, y se ha levantado bastante polémica acerca de si realmente ha existido una **coevolución** entre estos grupos. En la próxima sección se verán más ampliamente los detalles sobre este tema.

Polinización ornitófila. Es aquella donde intervienen aves. La mayoría de las flores que atraen aves carecen de olor pero poseen colores intensos y brillantes (debido a que el sentido del olfato de las aves es poco desarrollado, pero el de la vista está muy desarrollado). Usualmente las aves polinizadoras poseen picos largos y delgados para succionar el néctar, el intercambio de polen se realiza de manera similar que en el caso de los insectos (Cuerda 1993).

Polinización quiropterófila. Es un tipo de polinización asociada a mamíferos: los murciélagos. Existen dos tipos de murciélagos polinizadores, los insectívoros que van a las flores en busca de insectos para comer, y los murciélagos frugívoros que se alimentan de las flores y los frutos. El proceso del intercambio de polen se da de manera similar al de los insectos y las aves, sin embargo, puesto que los murciélagos son animales nocturnos, polinizan únicamente a flores que permanecen abiertas o se abren de noche (Cuerda 1993).

Autopolinización

Algunas plantas son capaces de autopolinizarse, pero este proceso es efectivo solamente en algunas especies como el guisante de olor, dado que en otros casos se presenta una incompatibilidad genética por la cual la fecundación no es efectiva (Cuerda 1993).

En algunas angiospermas, las flores se valen de diferentes mecanismos para evitar la autopolinización (que los granos de polen fecunden el óvulo de la misma flor) porque con este tipo de autofecundación ocurre un deterioro genético progresivo debido a la falta de recombinación con otros individuos. Estos mecanismos se traducen en la producción de flores masculinas en la parte inferior de la planta y flores femeninas en la parte superior, la producción de plantas con flores de un solo sexo, también se da la producción de flores con anteras cortas y pistilos largos o anteras que salgan fuera de la flor, para así evitar que el polen de la misma flor fecunde al ovario.

COEVOLUCIÓN INSECTO–PLANTA EN LA POLINIZACIÓN

Este es un tema que actualmente está levantando mucha polémica, ya que existen dos posiciones opuestas que discuten la existencia de una relación evolutiva entre plantas e insectos en la polinización.

Si bien este tema está todavía en discusión, Charles Darwin, en 1859 ya hablaba de las relaciones de insectos y plantas en función a la **polinización**, como un fundamento para la teoría de la Selección Natural. Darwin planteaba que un determinado insecto no poliniza una flor por casualidad, sino que existe una relación simbiótica de por medio (Fontúrbel & Mondaca 2000, Fontúrbel 2002). Ahora veremos brevemente lo que sucede en esta relación y las estrategias de polinización que han desarrollado las plantas para atraer a los insectos.

Como ya se vio anteriormente, las plantas y los insectos obtienen beneficios de la polinización. La tabla 8–2 resume los principales beneficios que ambos obtienen de esta interacción ecológica.

Volviendo atrás en el tiempo, tenemos que imaginar que sucedía hace millones de años: las plantas con semilla eran bastante recientes, y posiblemente la polinización y dispersión se daban por el viento, y las flores eran aún estructuras muy primitivas, parecidas a un cono. En esta misma época los insectos ya habían alcanzado una población de tamaño considerable y sus hábitos alimenticios eran variados (Fontúrbel & Molina 2003, 2005).

Muchos de los insectos de aquella época eran **herbívoros**, y se alimentaban principalmente de las hojas, esporas y polen de las plantas. Como el lector puede imaginar, el consumo de hojas reduce considerablemente la nutrición de la planta, porque le quita las principales estructuras fotosintéticas, y el consumo de esporas y polen evita la reproducción.

Tabla 8–2: Beneficios para plantas e insectos en la polinización. Donde: + poco común, ++ común, +++ muy común (según Jolivet, 1992).

Interacción	***Protección***	***Alimento***	***Transporte***	***Ayuda reproductiva***
Insectos a plantas	+	+	++	+++
Plantas a insectos	++	+++	+	+

Inicialmente, se cree que las plantas comenzaron a defenderse de los insectos herbívoros generando una serie de compuestos tóxicos, con el fin de repelerlos. Esta estrategia era efectiva por un corto periodo, pues al cabo de un tiempo, los insectos desarrollaban resistencia a estos tóxicos, al igual que lo hacen en la actualidad con los insecticidas químicos (Fontúrbel & Molina 2003).

Al parecer, luego de miles de años de lucha química entre la presa y el predador, la evolución tomó un rumbo distinto y se dieron una serie de adaptaciones paralelas en plantas e insectos para impedir la herbivoría de hojas y polen. Este desarrollo conjunto dio por resultado un cambio en la dieta alimenticia de los insectos, los cuales dejaron de comer hojas y polen, para pasar a alimentarse del **néctar**. Si bien a la planta le representa un "esfuerzo" adicional la producción de una **sustancia rica en azúcares**, la ganancia se da al evitar la destrucción de tejidos y gametos (*sensu* Fontúrbel 2002, Fontúrbel & Molina 2005).

Posteriormente la morfología de las flores se fue modificando para poder dispersar el polen mediante los insectos, y de estas modificaciones surgen las diferentes estrategias de polinización insecto–planta, que se verán a detalle más adelante.

El grado de especialización de insectos y plantas es tan profundo, que se habla de **coevolución**, ya que las relaciones son tan estrechas que se hace difícil pensar que este proceso sea casual (Fontúrbel & Mondaca 2000). La polinización por insectos puede ser específica o difusa. La **polinización específica** se da solamente entre dos especies: un insecto y una planta determinadas, esta es una relación estricta. La **polinización difusa**, en cambio, es aquella en la que una misma planta puede estar polinizada por varios animales, como por ejemplo *Nicotiana glauca*, que es polinizada por abejas, abejorros y picaflores (Loayza 1998).

Estrategias de polinización

En el transcurso del proceso de coevolución insecto–planta, se han presentado numerosas estrategias para la polinización, las cuales parecen muy sencillas a simple vista, pero un estudio más profundo de ellas es capaz de impresionar a cualquier científico.

El principal atractivo de las flores es el néctar, y son muchos los insectos que se alimentan exclusivamente de él, como por ejemplo, las mariposas. Las flores poseen **guías de néctar**, que son arreglos de colores y formas en los pétalos a manera de una pista de aterrizaje, que le indican al polinizador dónde se encuentra el preciado néctar. Algunas veces estos arreglos están formados por el color rojo, el cual no pueden ver los insectos, o también pueden ser guías ultravioletas, visibles sólo para los insectos. Una vez que el insecto penetra en la flor en busca del néctar, se cubre de polen, y va de flor en flor esparciéndolo, pues el néctar de una sola flor no es suficiente alimento (Fontúrbel & Mondaca 2000, Fontúrbel & Molina 2003).

Otras plantas, son capaces de secretar **feromonas** similares a las de los insectos, y de esta manera "engañan" al polinizador, quien "cree" que está copulando mientras se cubre de polen. En estos casos, también se produce una adaptación a nivel de los granos de polen, los cuales se hacen más adhesivos, para facilitar su fijación al polinizador. Los insectos suelen transportar el polen en las patas, la cabeza, el tórax o el abdomen.

Muchas flores zigomorfas han adaptado su estructura para producir un descenso de la parte superior de la flor –donde se encuentran los estambres– al momento que el insecto se posa en el pétalo inferior, y de esta manera lo cubren de polen. El ejemplo más claro de esto es la retama (*Spartium junceum*), basta con presionar un poco para abajo la flor y el polen sale expulsado de la parte superior (*sensu* Fontúrbel 2002).

Quizá el ejemplo más asombroso que se puede usar para ilustrar las estrategias de polinización es el de los **abejorros** y las **orquídeas**. Este ejemplo lo usa Darwin (1859) en *El origen de las especies* para fundamentar que existen relaciones ecológicas complejas entre los organismos, y que nada sucede por casualidad. Las formas irregulares de las flores de las orquídeas no sólo les confieren una belleza excepcional, también son importantes en la polinización, ya que apenas el abejorro se posa sobre la flor, las gotas de agua que estas irregularidades almacenan, mojan las alas del insecto impidiéndole volar por unos instantes, en los cuales el polinizador revolotea dentro la flor y se cubre de polen (Darwin 1992; Fontúrbel & Molina 2003).

Principales insectos polinizadores

Los principales insectos polinizadores son los coleópteros, las abejas, las avispas, las polillas, las mariposas y las moscas.

Los coleópteros no son polinizadores especializados y polinizan muchas plantas. Sin embargo, son fundamentales para la reproducción de varias especies, puesto que son un grupo muy antiguo y numeroso, que fue desarrollando junto con muchas de las plantas con flor (Moraes 1994).

Las mariposas y polillas tienen comportamientos diversos en cuanto a la polinización y no existe un término que pueda caracterizar esta relación. Estos insectos son importantes en los bosques a nivel de sotobosque y subdosel, puesto que interaccionan con diferentes colores de flor y existen individuos tanto con hábitos diurnos como nocturnos (Moraes 1994).

Los himenópteros (abejas, avispas, abejorros, etc.) son un grupo bastante especializado en polinización. De este grupo destacan las abejas, que por su completa **organización social** y hábitos alimenticios, son polinizadores altamente eficientes. Las abejas se alimentan del néctar de las flores y son capaces de **comunicarse** entre ellas para poder explotar las reservas de néctar. Puesto que en las colmenas vive un gran número de individuos, se visitan varias flores para conseguir el alimento necesario para sí mismas y las que no salen de la colmena, como la abeja reina (Moraes 1994, Fontúrbel & Mondaca 2000).

Finalmente, las moscas fueron el primer grupo de polinizadores en estudiarse. Su actividad es irregular y poco específica. Se guían por colores y buscan flores bastante simples y con néctar accesible. Las moscas son polinizadores específicos muy importantes para ciertos grupos de plantas de condiciones extremas, en la cuales la polinización se hace muy difícil, como por ejemplo las plantas que viven en regiones polares (Moraes 1994).

DISPERSIÓN Y LATENCIA DE SEMILLAS

La dispersión de semillas en un proceso de suma importancia, por el cual se asegura que el nuevo individuo no entre en competencia con los organismos parentales por el sustrato y se expande el límite biogeográfico en el que se desenvuelven (Villee et al. 1992). Depende tanto de factores abióticos y bióticos, como en el caso de la polinización. Sin embargo, existen medios de dispersión que no dependen de ninguno de estos dos factores, porque los frutos son generalmente explosivos y por fenómenos de turgencia o desecación se rompen expulsando así, de manera violenta a las semillas a considerables distancias (Villee et al. 1992).

Dispersión por medio de factores abióticos

Este tipo de dispersión se da gracias a la relación de la planta con naturaleza, principalmente con el agua y el aire.

Hidrocoria. La **hidrocoria** o dispersión hidrófila, es aquella que se da gracias a la acción del agua. La lluvia que cae en diferentes vertientes es capaz de arrastrar eficientemente a las semillas y frutos hacia las llanuras. Algunas plantas que presentan cápsulas, se abren en condiciones húmedas, expulsando así las semillas en el momento propicio. La hidrocoria también está presente en las plantas acuáticas y plantas muy cercanas a corrientes de agua, en este caso se presentan frutos capaces de flotar. En algunos casos excepcionales, el mar es un dispersor de largas distancias para semillas que pueden estar mucho tiempo en contacto con el agua sin germinar (Cuerda 1993).

Anemocoria. La **anemocoria** es la dispersión por medio del aire. Los frutos y semillas que se dispersan por medio de las corrientes de aire se denominan *frutos alados* y *semillas aladas*, puesto que han desarrollado una cubierta externa ligera con la presencia de “alas” derivadas del perianto o el pericarpio, al igual que estructuras en forma de plumero, que permiten que la semilla sea arrastrada por el viento. Las semillas que presentan este tipo de dispersión se caracterizan por ser pequeñas y muy livianas.

Dispersión por medio de factores bióticos

Los animales juegan un papel importante en este tipo de dispersión, ya que existe una relación mutua benéfica entre la planta y el animal. Dado que la planta consigue dispersar las semillas y el animal consigue alimento (hojas, flores y especialmente frutos) y sustrato para la oviposición, en algunos casos. El hombre también es un vector dispersor de semillas.

Zoocoria. La **zoocoria** es la dispersión por medio de animales, puede ser interna o externa. En el primer caso, la dispersión se denomina **endozoocoria** y en el segundo, **exozoocoria**:

- *Endozoocoria:* Se da particularmente en aves y mamíferos que ingieren los frutos carnosos de las plantas incluyendo a las semillas, pero estas no son digeridas por el animal y son dispersadas por medio de las heces fecales. Inclusive existen semillas que se ven favorecidas por los jugos gástricos en la germinación por el paso a través del tubo digestivo del animal dispersor.

  Ocasionalmente, los animales dispersan endozoocóricamente las semillas de las plantas de las cuales se alimentan, favoreciéndose a ellos mismos al asegurar las fuentes alimenticias.

  La endozoocoria también es importante porque las heces fecales resultantes de la ingestión de las semillas favorecen a las plantas por la presencia de sustancias minerales y humus (Kimball 1984).

- *Exozoocoria:* En muchas semillas y frutos se presentan estructuras especiales (púas, ganchos, pelos, sustancias adhesivas) adaptadas para adherirse a las plumas de las aves o al pelaje de otros animales y de esta manera dispersarse. Ocasionalmente, las estructuras adhesivas pueden causar leves daños al pelaje (o plumaje) del animal (Cuerda 1993). En algunos casos las estructuras de dispersión pueden causar daños graves al animal, por ejemplo el fruto de *Harpagophytum* sp. de los bosques del África, que posee brazos leñosos con fuertes ganchos, mediante los cuales se fija al dispersor, y una vez que penetra, es prácticamente imposible arrancarlo (Scagel et al. 1977)

Antropocoria. En este caso, el medio dispersor es el hombre, que ya sea de forma accidental o por fines específicos (como la agricultura) se encarga de dispersar las semillas (Cuerda 1993).

Dispersión de poblaciones

Usualmente cada especie tiende a producir más descendencia de la que puede sobrevivir en su hábitat natural, dado que la dispersión de semillas tiende a expandir los límites biogeográficos donde se desarrolla. Pero la gran competencia con otras especies y los climas variantes de las nuevas regiones van a contrarrestar tal expansión, que –caso contrario– no tendría límites. Adicionalmente, al cambiar de espacio biogeográfico, las plantas se arriesgan a perder medios de dispersión como la hidrocoria o parte de la zoocoria; es muy posible que la nueva población muera por una dispersión inadecuada (Cuerda 1993).

La dispersión de las poblaciones es una capacidad fundamental para poder sobrevivir en un medio en constante cambio, las poblaciones que no son capaces de dispersarse están condenadas a morir porque no pueden buscar hábitats más adecuados, en cambio las poblaciones que han evolucionado a estrategias que les permiten dispersarse, tienen muchas más probabilidades de mantenerse en el tiempo.

Latencia de semillas

Algunas semillas son capaces de mantenerse inactivas (sin germinar) durante condiciones desfavorables, ya que la exposición a condiciones adversas debilitaría a la nueva planta y ocasionaría su muerte prematura. Para ello, algunas semillas han desarrollado diversos mecanismos de protección por medio de un letargo o latencia, en el cual no germinan pero tampoco se descomponen o se malogran. Esta condición de letargo llega a su fin, cuando la semilla encuentra las condiciones adecuadas para germinar y desarrollarse plenamente.

Los factores que influyen para que la semilla empiece a germinar son: la temperatura, el agua, la cantidad de oxígeno disponible, la calidad del sustrato, y la luz; la presencia, ausencia y cantidad de estos factores determinará el tiempo en el cual la semilla madura germinará a partir del momento en que fue expulsada fuera de la planta. La mayoría de las semillas necesitan absorber agua para poder germinar, es decir, que un ambiente húmedo es imprescindible ya que un medio acuoso es necesario para el metabolismo activo (Villee et al. 1992). El agua se constituye en un elemento imprescindible para la germinación, porque durante este proceso se

deben sintetizar y degradar muchos materiales, con el consiguiente gasto energético, que es elevado (Villee et al. 1992).

Sin embargo, algunas semillas –en casos excepcionales– pueden flotar en el agua de mar por mucho tiempo sin germinar. Si bien el agua es un factor imprescindible para la germinación, ésta también depende de la cantidad de oxígeno, debido a que las plantas son aerobias. La temperatura, ya que son pocas las semillas que pueden desarrollarse en temperaturas inferiores o superiores al intervalo de temperatura óptima (25-30ºC) y, por consiguiente, mientras más dispar sea la temperatura del lugar con el intervalo óptimo, menos serán las posibilidades de germinación (Villee et al. 1992).

Sin embargo, existen algunas semillas que se encuentran principalmente en los bosques de Australia, que necesitan de una temperatura muy elevada para iniciar la germinación, como por ejemplo, un incendio. De esta manera protegen el equilibrio ecológico de algunos bosques y regiones que al ser cálidas y de clima seco, tienden a incendiarse con facilidad, ya que las semillas que germinan gracias al fuego van a reforestar y repoblar los bosques afectados.

La luz es un factor que influye en el desarrollo de la nueva planta, ya que gracias a ella se produce la fotosíntesis. Por lo tanto, si la cantidad de luz es pobre, la fotosíntesis también y por consiguiente la planta recibe escasas cantidades de nutrientes.

Algunas semillas necesitan de una calidad mínima de suelo para germinar, pero hay algunas que necesitan de un suelo rico en nutrientes orgánicos e inorgánicos para poder germinar.

El tiempo de latencia de semillas está limitado a la cantidad de reservas alimenticias que tenga la semilla, ya que el embrión se nutre de ellas antes de germinar. La cantidad de sustancias de reserva depende de cada tipo de semilla, la cual suele ser una adaptación evolutiva al tipo de hábitat. El tiempo de latencia está asociado con la viabilidad de la semilla, puesto que si esta no cumple con una etapa normal de latencia puede transformarse en una semilla inviable incapaz de germinar (Cuerda 1993).

Sin embargo, el tiempo de latencia que puede tener una semilla, es muy variable de acuerdo a la especie. Existen semilla que pasados unos meses se vuelven inviables y ya no son capaces de germinar, mientras que hay otras semillas que pueden permanecer muchos años latentes. Un caso anecdótico sucedió en un museo en Gran Bretaña, donde a raíz de una inundación, germinaron semillas que tenían casi 200 años guardadas ahí. Igualmente, se vio que algunas de las semillas de loto que se encontraron en las tumbas de los faraones egipcios en las pirámides, germinaron al contacto con el agua, luego de cientos de años de estar guardadas allí.

ECOLOGÍA, CONSERVACIÓN Y DESARROLLO

En los últimos años se ha estado tratando de unir estos tres conceptos: Ecología, Conservación y Desarrollo. Ahora, los conceptos de desarrollo y medio ambiente aparecen indisolublemente unidos sin rasgos de contradicción de épocas anteriores, ligados a otros conceptos, como los de ecointerdependencia mundial, autodependencia colectiva, supervivencia global, etc., que en definitiva, están consolidando nuevos conceptos estratégicos y estilos de desarrollo alternativo.

Sabemos que la ecología no camina sola, y una actitud conservacionista pasiva no ha logrado mejoras sustanciales, mejoras que sí se pueden dar con un manejo sostenible de los recursos naturales presentes a escala mundial. Entonces, ahora cuando se habla de ecología, necesariamente se introduce los conceptos de desarrollo.

La creciente toma de conciencia de las sociedades europeas y norteamericanas desde los años 80, sobre el peligro del constante deterioro del medio ambiente para la humanidad, incitó a la cooperación internacional a centrar programas de apoyo técnico y financiero al desarrollo de proyectos que fomenten la preservación y el aprovechamiento sostenible de los

> Desarrollo sostenible, satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Jiménez, 1989).

recursos naturales. De forma paralela, se propusieron una serie de medidas dirigidas a la reducción de los impactos de las industrias, el tráfico vehicular, los desechos, etc., sobre el medio ambiente y a mejorar el manejo de los recursos naturales bajo criterios de sostenibilidad. Estas medidas se encuentran plasmadas en convenciones internacionales, por medio de las cuales los Estados se comprometen a proteger y conservar el medio ambiente, además de incluir los mecanismos correspondientes en sus legislaciones nacionales.

En la Cumbre de la Tierra realizada en Río de Janeiro en 1992, los jefes de Estado de la mayoría de los países del mundo se reunieron para tratar exclusivamente los problemas ambientales del planeta. Uno de los puntos centrales fue la aprobación del Convenio de la Diversidad Biológica, lo que nos demuestra la importancia que ha cobrado la importancia de la conservación de Diversidad Biológica en estos momentos. Esta Cumbre de la Tierra fue la culminación de una serie encuentros y conferencias internacionales desarrolladas a lo largo de veinte años.

Los conceptos de Manejo y Desarrollo Sostenible en realidad son muy recientes, ya que se los han usado ampliamente recién en la última década. Pero ha sido la Comisión Mundial Sobre Medio Ambiente y Desarrollo quien ha consolidado el uso de éste término dándole un significado más explícito, tomando en consideración variables ambientales, sociales, nacionales e internacionales, para así poder definir programas de acción a largo plazo para toda la comunidad mundial.

Recientemente se ha elaborado una estrategia mundial denominada **Cuidar la Tierra**, con la participación de numeroso especialistas del mundo entero, que se basa en una ética del cuidado de la naturaleza y las personas, donde las que acciones propuestas se refuerzan mutuamente a escala individual, local, nacional e internacional (UICN, PNUMA, WWF 1991).

Estas estrategias presentan siete principios para una sociedad sostenible (transcrito de la versión resumida de Cuidar la Tierra):

A. *Respetar y cuidar la comunidad de los seres vivientes*. El fundamento de la vida sostenible es una ética basada en el respeto y la consideración para cada uno de los otros y por la tierra. El desarrollo no debe lograrse a expensas de otros grupos o de las generaciones futuras, ni amenazar la supervivencia de otras especies.

Los costos y beneficios derivados del uso de los recursos y de las actividades de conservación ambiental deben compartirse equitativamente entre las diferentes comunidades, entre los ricos y los pobres y entre nuestra generación y las venideras.

B. *Mejorar la calidad de vida Humana.* La finalidad del desarrollo es mejorar la calidad de la vida humana. Este debe permitir que las personas alcancen su potencial y puedan llevar una vida de dignidad y realización. El crecimiento económico es parte de éste desarrollo, pero no puede ser un fin en sí mismo, pues no puede prolongarse indefinidamente. Aunque existen opiniones divergentes en cuanto a los objetivos que debería procurar el desarrollo, algunos tienen carácter particularmente universal. Entre estos figuran el logro de una vida prolongada y saludable, la educación, el acceso a los recursos necesarios para una nivel de vida decoroso, la libertad política, el disfrute del los derechos humanos y la supresión de la violencia. El desarrollo sólo es verdadero si nos permite mejorar nuestras vidas en todos estos aspectos.

C. *Conservar la vitalidad y diversidad de la tierra.* El desarrollo debe basarse en la conservación, esto es, debe proteger la estructura y la diversidad de los sistemas naturales del mundo, de los cuales depende nuestra especie. Con esta finalidad es necesario:

- Conservar los sistemas sustentadores de la vida. Se trata de los procesos ecológicos que mantiene al planeta apto para la vida. Estos modelan el clima y la pureza del aire y el agua, regulan el caudal de las aguas, reciclan elementos esenciales, crean y regeneran suelos y permiten a los ecosistemas renovarse a sí mismos.
- Conservar la diversidad biológica. Esta comprende a todas las especies de plantas, animales y otros organismos, a toda la gama de poblaciones genéticas dentro de cada especie, y a toda la variedad de ecosistemas.
- Velar para que la utilización de los recursos renovables sea sostenible. Estos recursos son el suelo, las especies silvestres y domésticas, los bosques, las praderas, las tierras y los ecosistemas marinos y de agua dulce que son la

fuente de la pesa. Una utilización es sostenible si no excede los límites de la capacidad de los recursos para regenerarse.

D. *Manejo dentro de la capacidad de carga de la Tierra.* La "capacidad de carga" de los ecosistemas de la Tierra tiene límites; esos limites son los que estos ecosistemas de la biosfera pueden soportar sin sufrir grave deterioro. Los límites varían de una región a otra y los impactos dependen del número de habitantes y de la cantidad de alimentos, agua, energía y materias primas que utiliza y desperdicia cada uno. Las políticas destinadas al lograr el equilibrio entre el volumen de población y los estilos de vida del ser humano, por un lado, y la capacidad de carga de la Tierra, por el otro, deben complementarse con tecnologías que refuercen esa capacidad a través de un manejo cuidadoso.

Es preciso minimizar el agotamiento de los recursos no renovables, como los minerales, el petróleo, el gas o el carbón. Cuando estos no puedan ser utilizados de manera sostenible, hay que tratar de aumentar su "vida útil" reciclándolos, reduciendo la proporción del determinado recurso que se utiliza para fabricar tal o cual producto, o utilizando sustitutos renovables siempre que sea posible. Estas medidas son indispensables para que la Tierra pueda sustentar las adicionales miles de millones de personas en el futuro y proporcionarle a cada una de ellas una calidad de vida decorosa.

E. *Modificar las actitudes y prácticas personales.* Para poder adoptar una ética de visa sostenible, los individuos deben reconsiderar sus valores y modificar su comportamiento. La sociedad debe promover valores que estén en consonancia con la ética y desalentar aquellos que sean incompatibles con un modo de vida sostenible. Debe proporcionarse información, a través de la educación oficial y tradicional, para que se comprenda verdaderamente las medidas que es necesario adoptar.

F. *Facultar a las comunidades para cuidar de su medio ambiente.* Las comunidades y los grupos locales son los canales más esenciales de que disponen las personas para manifestar sus intereses y actuar para crear sociedades sostenibles basada en la seguridad. No obstante, para poder actuar esas comunidades necesitan autoridad, capacidad y conocimientos. Las personas que se organizan en sí mismas para trabajar en áreas de la sustentabilidad en sus propias comunidades pueden adoptar una contribución eficaz, independientemente de que su comunidad sea rica, pobre, urbana o rural.

G. *Forjar una alianza mundial.* El logro de la sustentabilidad mundial dependerá del establecimiento de una firme alianza entre todos los países. Pero como los niveles de desarrollo no son iguales en todo el mundo, se debe prestar asistencia a los países de ingresos relativamente bajos para que puedan desarrollarse de forma sostenible y proteger su medio ambiente.

Los recursos mundiales y compartidos, en especial la atmósfera, los océanos y los ecosistemas compartidos, sólo pueden manejarse con un propósito o una determinación común. La ética de cuidado se aplica tanto a un nivel internacional como nacional e individual. Ninguna nación es autosuficiente; todas se beneficiarán de la sustentabilidad mundial y todas estarán amenazadas si no logramos alcanzarla.

Por Desarrollo Sostenible, según el informe de la citada Comisión, se entiende aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras (Jiménez 1989).

Consideramos al Desarrollo Sostenible como un proceso de cambio continuo –en lugar de un estado de armonía fijo– en el que la utilización de los recursos, la orientación de las nuevas tecnologías y la modificación de las instituciones estén acorde con el potencial actual y futuro de las necesidades humanas. La necesidad prioritaria es la de revitalizar el crecimiento como condición, necesaria pero no suficiente, para la eliminación de la pobreza absoluta; cambiar la calidad de crecimiento sobre bases reales de capitales ecológicos que los sustenten; satisfacer las necesidades humanas esenciales; asegurar un nivel sostenible de la comunidad; aumentar y conservar los recursos de base; asociar economía y medio ambiente en la toma de decisiones.

Integración entre Economía y Medio Ambiente

Es curioso el contraste que domina la escena internacional sobre los rumbos de acción que pretenden tornar más sostenibles los procesos de desarrollo. El amplio consenso sobre la necesidad de incorporar tanto las restricciones como las

oportunidades ambientales en las políticas económicas, como las restricciones y oportunidades económicas en las políticas ambientales sin embargo son raros los gobiernos que parecen realmente creer en esta integración entre economía y medio ambiente.

Es obvio que la deseada integración de las políticas encara serios problemas de conocimiento. Basta con recordar cuanto los economistas se encuentran encerrados en tentativas ortodoxas de subordinar al medio ambiente a un sistema económico, como en programas de investigación que pretenden llenar de economía al medio ambiente. También es muy cierto que no se están aprovechando de manera adecuada todos los progresos realizados en economía ambiental, economía ecológica y bioeconomía.

Felizmente es falsa la creencia dominante de que el impacto de las políticas ambientales sobre la competitividad o empleo sea negativo. Los resultados de la mayoría de los análisis macroeconómicos van en dirección opuesta. Todavía, los mismos estudios parecen indicar que esa relación positiva es tan delicada que no puede respaldar cualquier iniciativa para la posibilidad de una solución estructural para las altas tasas de desempleo.

El desafío actual de Latinoamérica

La amplia riqueza biológica que contiene el continente Sudamericano, no esta limitada a un nivel de especies o ecosistemas, más bien vemos que gran parte de estos ecosistemas encierran recursos que revierten diferentes grados y formas de utilidad, a la que se suma la amplia y variada riqueza cultural originaria. La falta de estrategias de manejo probados que sirvan para el manejo sostenible de los recursos naturales es crítica, pero sin embargo, contamos con algunas experiencias y con una basta historia tradicional del uso de los recursos que constituyen un punto de partida importante para encarar los programas de desarrollo. Según Marconi (1991), no se puede tener *una* sola solución en cuanto a las modalidades de aprovechamiento de recursos, sino un conjunto variado de soluciones, tan variado como la naturaleza misma.

La falta de un análisis de potencialidades ambientales hace que el manejo de los recursos naturales se centre solamente en un área, habiendo una infinidad de posibilidades de explotación, las cuales ayudarían a reducir los índices de degradación de nuestros ecosistemas. En este sentido, antes de convertir un ecosistema en un agroecosistema (más simple y por lo tanto más inestable) debemos analizar si la productividad agrícola, por ejemplo, supera y de manera sostenible la productividad de otros productos como frutos, maderas, etc.

La situación de pobreza en la que se encuentran sumergidas estas poblaciones de las tierras bajas esta ligada, aunque no directamente, al deterioro ambiental. Así la conservación de los suelos, por ejemplo, es actualmente un problema social, en la medida en que se requiere para mejorar la productividad de los alimentos y otros bienes, antes que un fin ecológico en sí mismo (Marconi 1990). La relación entre desarrollo y conservación requiere que los economistas tomen en cuenta los principios de conservación cuando elaboren los programas de desarrollo y por otra parte, que los conservacionistas tomen acciones en procura del desarrollo, y no solamente en la protección de la naturaleza por sí misma.

CUESTIONARIO

1) Defina: Ecología, Ecosistema, Hábitat, Nicho ecológico, Distribución y Abundancia.
2) Discuta la influencia de los factores abióticos sobre la diversidad vegetal.
3) ¿Cuáles son los 8 biomas?, mencione y explique muy brevemente cada uno.
4) ¿Qué es una pirámide trófica? ¿Cómo se ve en ella el flujo de energía?. Haga esquemas.
5) Explique brevemente las 8 interacciones ecológicas, dando ejemplos para cada caso.
6) ¿Cuál es la utilidad de conocer la estructura de las poblaciones vegetales?
7) Explique brevemente la polinización y mencione algunas de sus formas.
8) Discuta brevemente sobre la coevolución insecto–planta en la polinización.
9) Explique brevemente la dispersión de semillas y su importancia.
10) Discuta brevemente sobre la relación de la ecología con la conservación y desarrollo.

REFERENCIAS

- Achá, D. & F. Fontúrbel. 2000. *Las plantas C_3, C_4 y CAM.* Revista Estudiantil de Biología, 1 (1): 28–33.
- Atlas, R. & R. Bartha. 2002. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 4º edición, Ed. Addison Wesley, Madrid, pp 3–6, 97–130.
- Campbell N., L. Mitchell & J. Reece. 1994. *Biology: Concepts & Connections*. Editorial Benjamin Cummings, EUA, pp 670–672.
- Cuerda, J. 1993. *Atlas de Botánica*. Editorial Cultural, Barcelona, pp 60-61, 66-67, 70.
- Fontúrbel, F. & C. Molina. 2003. *Mecanismos y estrategias de coevolución en plantas: un breve análisis de la coevolución planta–insecto.* Ciencia Abierta Internacional **22**, 16p.
- Fontúrbel, F. & C. Molina. 2005. *Mecanismos genéticos del proceso de coevolución*. Revista Elementos, **57**: 21–29.
- Fontúrbel, F. & D. Mondaca. 2000. *Coevolución insecto–planta en la polinización*. Revista Estudiantil de Biología, 1 (1): 18–27.
- Fontúrbel, F. 2002. *Rol de la coevolución planta–insecto en la evolución de las flores cíclicas en las angiospermas*. Ciencia Abierta Internacional **17**, 11p.
- JIMÉNEZ, L**.** 1989. *Medio Ambiente y Desarrollo Alternativo: Gestión racional de los recursos para una sociedad perdurable.* Ed. Iepala, Madrid.
- Jolivet, P. 1992. *Insects and plants. Parallel evolution and adaptations*. 2º edición, Editorial Sandhill Crane Press, Florida, pp 4–5, 157–161.
- Kimball, J.. 1984. *Biología*. 4º edición, Editorial Addison–Wesley Iberoamericana, México DF, pp 353-358.
- Krebs, C. 1985. *Ecología: Estudio de la Distribución y la Abundancia*. 2º edición, Editorial Harla, México DF, pp 3–4, 10–11, 20, 115–138, 217–221, 231–236, 414–415.
- Loayza, A. 1998. *Efecto de la temperatura y la humedad sobre la producción de néctar por* Nicotiana glauca *(Solanaceae) y su influencia sobre las horas de forrajeo de los visitantes florales*. Tesis de Grado para optar al Título de Licenciatura en Biología UMSA, La Paz, pp 10–13, 35–36, 54.
- Marconi, M. 1990. *Estrategia para la Conservación.* En FAN (Ed.), Desarrollo y Conservación. Propuesta hacia una nueva legislación sobre Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente. Memorias de Seminario Taller, Santa Cruz.
- Marconi, M. 1991. *Conservación de la Diversidad biológica de Bolivia.* Ed. Centro de Datos para la Conservación, La Paz.
- Moraes, M. 1994. *Ecología vegetal: relación planta–animal*. Documentos Ecología en Bolivia, Botánica 2, Editorial Instituto de Ecología UMSA, La Paz, pp 1–2, 10–11, 60, 62, 70.
- Morales, C. 1988. *Manual de Ecología*. Editorial Instituto de Ecología –UMSA, La Paz, p 315.
- Odum, E. 1972. *Ecología*. 3º edición, Editorial McGraw–Hill • Interamericana, México DF, p 4.
- Pace M., J. Cole, S. Carpenter & F. Kitchell. 1999. *Trophic cascades revealed in diverse ecosystems*. Tree, 14 (12): 483–488.
- Sachs, I**.** 2000. *Caminos para o Desenvolvimento Sustentável*, Garamond, Rio de Janeiro.
- Scagel R., R. Bandoni, G. Rouse, W. Schofield, J. Stein & T. Taylor. 1977. *El Reino vegetal: los grupos de plantas y sus relaciones evolutivas*. Ediciones Omega, Barcelona, pp 568–569.
- Smith, R. & T. Smith. 2001. *Ecología.* 4º edición, Editorial Addison Wesley, Madrid, 620p.
- UICN, PNUMA, WWF. 1991. *Cuidar la Tierra***.** Estrategia para el futuro de la vida.
- Veiga, J. 2000. *A face Rural do desenvolvimento: Natureza, território e agricultura.* Ed. Universidade/UFRGS. Porto Alegre.
- Villee C., E. Solomon, C. Martin, D. Martin, L. Berg & W. Davis. 1992. *Biología*. 2º edición, Editorial Interamericana McGraw–Hill, México DF, pp 13, 585-586, 754-756, 1187, 1202–1224, 1249–1263, 1329, 1332.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS RECOMENDADAS

- 🕮 Achá, D. & F. Fontúrbel. 2000. *Las plantas C_3, C_4 y CAM*. Revista Estudiantil de Biología, 1 (1): 28–33.
- 🕮 Atlas, R. & R. Bartha. 2002. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 4º edición, Ed. Addison Wesley, Madrid, 677p.
- 🕮 Campbell N., L. Mitchell & J. Reece. 1994. *Biology: Concepts & Connections*. Editorial Benjamin Cummings, EUA.
- 🕮 Fontúrbel, F. & D. Mondaca. 2000. *Coevolución insecto–planta en la polinización*. Revista Estudiantil de Biología, 1 (1): 18–27.
- 🕮 Fontúrbel, F. 2002. *Los bosques andinos: reseña biogeográfica y elementos representativos"*. Revista de Biología.org, 10, Madrid, http://www.biologia,org.
- 🕮 Fontúrbel, F. 2002. *Rol de la coevolución planta–insecto en la evolución de las flores cíclicas en las angiospermas*. Revista Ciencia Abierta, 17 (1), http://cabierta.uchile.cl.
- 🕮 Krebs, C. 1985. *Ecología: Estudio de la Distribución y la Abundancia*. 2º edición, Editorial Harla, México DF.
- 🕮 Marconi, M. 1991. *Conservación de la Diversidad biológica de Bolivia.* Ed. Centro de Datos para la Conservación, La Paz.
- 🕮 Margalef, R. 1974. *Ecología.* Editorial Omega, Barcelona.
- 🕮 Moraes, M. 1994. *Ecología vegetal: relación planta–animal*. Documentos Ecología en Bolivia, Botánica 2, Editorial Instituto de Ecología UMSA, La Paz.
- 🕮 Revista *Bolivia Ecológica*, del Centro Cultural Simón I. Patiño, Cochabamba.
- 🕮 Smith, R. & T. Smith. 2001. *Ecología.* 4º edición, Editorial Addison Wesley, Madrid, 620p.
- 🕮 Villee C., E. Solomon, C. Martin, D. Martin, L. Berg & W. Davis. 1992. *Biología*. 2º edición, Editorial Interamericana • McGraw–Hill, México DF.

PÁGINAS EN INTERNET

- ✓ Asociación Española de Ecología Terrestre: http://www.aeet.org
- ✓ Cornell Plantations: http://www.plantations.cornell.edu
- ✓ Descargar Populus de la Universidad de Minnesota: http://www.cbs.umn.edu/populus/
- ✓ Missouri Botanical Garden: http://www.mobot.org
- ✓ Revista Americana de Ecología: http://www.amjbot.org
- ✓ Revista Ciencia Abierta: http://cabierta.uchile.cl
- ✓ Revista Conservation Ecology: http://www.consecol.org
- ✓ Revista EcoDigital: http://www.ecodigital.com.ar
- ✓ Revista Ecología en Bolivia: http://www.revistaecologia.bo.go.to/
- ✓ Revista Nature: http://www.nature.com
- ✓ Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología: http://www.sanpedro.gob.mx/sedurbe/sedurbe.htm

Para información actualizada, nuevos enlaces y material didáctico adicional visitar:

http://www.mbotanica.8m.com

CAPÍTULO 9

TÉCNICAS DE CAMPO Y LABORATORIO

Los **trabajos de campo** y **de laboratorio** son actividades fundamentales para el biólogo porque constituyen el complemento indispensable a la teoría aprendida y son las principales herramientas de trabajo para cualquier tipo de **investigación** que deba realizar. Estas dos formas de investigación, no deben considerarse de manera independiente, porque están íntimamente relacionadas y son complementarias entre sí.

El trabajo en laboratorio y campo son parte esencial de la **investigación científica** (ver *Capítulo 1*) ya que son la única manera de obtener y ampliar los conocimientos teóricos. En el laboratorio se estudian los fenómenos, formas, sistemas, estructuras, etc., que requieran cierta manipulación y utilización de material especial, que no se puede llevar al campo, para poder estudiar a profundidad los diferentes organismos y fenómenos biológicos. El trabajo en campo es necesario principalmente por dos razones: la primera, para conseguir y caracterizar las muestras (especimenes) en estado natural. Esto es muy importante incluso para el trabajo de laboratorio. La segunda, es que hay muchos campos de la biología en los que resulta difícil, sino imposible, realizar investigación en laboratorio y es necesario hacerla directamente en el campo. Este es el caso de la ecología (ver *Capítulo 8*).

Es importante tener una adecuada dirección y planificación del trabajo a realizarse tanto en laboratorio como en el campo, ya que el éxito y la eficiencia de las prácticas y salidas depende de un procedimiento lógico y sistemático, que permita hacer más con menos.

NORMAS DE LABORATORIO

Debido al costoso, escaso, delicado y –a veces– peligroso material, es necesario tener ciertas normas dentro del laboratorio para garantizar la integridad de los estudiantes y el equipo. Adicionalmente, el éxito de las prácticas depende en gran medida del cuidado que se tenga durante la realización del mismo. Por ello, se recomienda lo siguiente:

- Llevar siempre un guardapolvo de trabajo, que sirve para proteger a la ropa y al estudiante de sustancias que puedan dañar o manchar temporal o permanentemente a los mismos.
- Comportarse seriamente dentro del laboratorio para evitar accidentes personales y daños en el equipo.
- No destapar, mover de lugar o tocar material desconocido y/o no autorizado por el catedrático. Algunos recipientes o estufas de cultivo pueden contener material biológico, químico y/o radiactivo que puede resultar nocivo a la salud o en algunos casos, letal.
- No llevar ni consumir alimentos dentro del laboratorio, debido a que pueden contaminar e interferir con las prácticas y ensuciar el laboratorio. Además evita el riesgo de que tales alimentos queden contaminados, pudiendo provocar posteriormente daños al estudiante.
- Usar los reactivos químicos con especial cuidado, siempre preguntando previamente al catedrático sobre su adecuado manejo.
- Cuando se va a trabajar con sustancias tóxicas, en especial si éstas emiten vapores (con preferencia usarla bajo una campana de extracción), es aconsejable tomar leche antes y después de la práctica para evitar lesiones estomacales.
- Verificar el estado de los enchufes antes de conectarlos. Placas o clavijas dañadas pueden ocasionar descargas eléctricas de evidente peligro. Para desconectar cualquier equipo, jale de la clavija y no del cable.
- Comprobar el voltaje de los equipos que requieran energía eléctrica antes de conectarlos a la toma de corriente.
- Al final de cada práctica, se debe lavar, secar y guardar todo el material que se haya empleado en la práctica.
- Seguir lo más cercanamente posible la guía de prácticas proporcionada, no intente hacer pruebas extra sin consultar previamente con el catedrático.
- En caso de duda, siempre pregunte al ayudante o al catedrático.

NORMAS PARA EL TRABAJO EN CAMPO

Así como en el laboratorio, es importante contar con normas y reglas cuando se trabaja en el campo, por las mismas razones expuestas anteriormente, por lo tanto, se recomienda:

- Llevar todo el material indicado tratando de cargar el menor peso posible.
- Seguir las indicaciones del líder del grupo y no separarse del mismo, a menos que se le indique lo contrario.
- Tomar especial atención en el cuidado del equipo, ya que en el campo éste es más vulnerable. Se debe tomar un mayor cuidado que en el laboratorio.
- Llevar solamente el equipo necesario y procurar no llevar material delicado (microscopios, reactivos, material de vidrio, material electrónico, etc.) a menos que sea estrictamente necesario, y de ser así, deben ir embalados y protegidos debidamente. Por ejemplo, para transportar microscopios, éstos deben llevarse en cajas especiales con material de embalaje, y preferentemente con los objetivos separados.
- Si se lleva equipo a lugares calientes y muy húmedos, se deben utilizar bolsas de polietileno y emplear **desecantes** como silicagel. Si al cabo de algunas horas la bolsa de silicagel se pone rosada, hay presencia de humedad y ésta debe ser reemplazada por una nueva.
- Las muestras se deben transportar con cuidado en los diferentes medios de empaque, según indique el catedrático. Por ejemplo, muestras de árboles se llevan en prensas y muestras de hongos en pequeñas bolsas.
- Nunca ingerir plantas y/o animales desconocidos.
- Ante cualquier duda, consulte al catedrático o al ayudante.

NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN DEL INFORME DE LABORATORIO

El informe es un producto esencial de todo trabajo de campo y laboratorio, ya que éste refleja los resultados obtenidos en la experiencia. Por ello, un informe mal presentado desmerece todo el trabajo realizado en las prácticas.

Para tales efectos, un informe debe realizarse considerando los siguientes aspectos:

- Debe estar bien presentado, es decir limpio, organizado y legible, de forma que quien vaya a leerlo pueda captar el contenido del mismo claramente.
- Un informe debe ser claro y conciso, la calidad del mismo no debe medirse en cantidad de páginas sino en la facilidad de interpretación del mismo.
- El informe debe ir numerado y en lo posible engrapado para evitar desorden y posibles pérdidas parciales del material.
- La veracidad de los resultados es un factor muy importante, debido a que las prácticas no valen por lo cercanas que hayan salido a la teoría, sino por lo fieles que sean los resultados. No es de vital importancia que los resultados sean "perfectos" (los esperados, según bibliografía), de hecho, es mejor obtener de vez en cuando resultados dispares, porque estos dan lugar a hacer un análisis profundo de lo sucedido, experiencia que contribuye a la asimilación del tema.

El informe debe contener las siguientes partes y especificaciones:

Título: Las prácticas deben llevar el título al inicio, para que sea fácil identificar el tema, y éste debe expresar la esencia del contenido.

Objetivo: Es el punto de partida de toda práctica, porque el desarrollo de la misma se hace en base a los objetivos, por ello, deben ser claros y concretos. Además, son estos objetivos los que determinarán que el lector prosiga con la lectura o la abandone.

Marco de referencia o teórico: Una **breve** explicación teórica que ayude al lector a una mejor comprensión de del tema a tratarse, o que indique al lector cuanto tiene que saber para comprender el texto. En este punto no tiene sentido hacer extensas copias de libros o de Internet, que solamente harán perder tiempo a quien copia y a quien lee.

Materiales y métodos: Aquí se deben mencionar puntualmente los materiales empleados y los procedimientos seguidos.

Resultados: Es obviamente una parte muy importante del informe, ya que en ella se refleja la experiencia realizada, y con ciertas excepciones, y junto con el punto 6 debería abarcar el mayor porcentaje del informe. Los resultados deben ser presentados tal y como se obtuvieron, ya que cualquier distorsión de los mismos constituye un engaño. Además, esto permite que el lector pueda darle una interpretación propia en caso de haber desacuerdo con la interpretación expuesta. Las normas para los resultados, se detallan más adelante.

Discusiones e interpretación de resultados: Es una parte también fundamental para que un informe tenga validez científica. En este punto debe realizarse la comparación del los resultados obtenidos con la teoría, resultados esperados y otros resultados, ya que no siempre las prácticas salen fieles a la guía. De esta manera es posible analizar los errores cometidos. En caso de encontrarlos no deben ser omitidos porque quien nunca se equivoca y consigue siempre resultados perfectos es porque no realiza realmente la práctica, y por consiguiente no aprende nada. En esta parte también deben incluirse las observaciones que se consideren necesarias.

Conclusiones: Esta parte es también importante ya que en ella se da respuesta muy puntualmente a los objetivos. Es decir, se responde a las preguntas planteadas por los objetivos y se concreta si se cumplieron y en que medida los objetivos.

Bibliografía: Para realizar un informe, es necesario tener una base teórica, que pueden ser libros, revistas, artículos científicos, Internet, material multimedia y otros. Es importante el citar todas las fuentes usadas, puesto que son el respaldo de gran parte de lo que se expone en el informe y la omisión de las fuentes también puede ser considerada un plagio. Para mayor información acerca de cómo citar la bibliografía, revisar el primer capítulo, y el final de este capítulo.

Presentación de resultados

Las gráficas, figuras, tablas y cuadros deben numerarse y rotularse ordenadamente para una correcta relación con el texto y fácil interpretación de las mismas. Las gráficas y figuras se rotulan por debajo, y las tablas y cuadros por encima.

Las figuras deben ser preferentemente esquemáticas y representar sólo lo observado. Es importante que se nombren partes, si se trata de una observación al microscopio, el dibujo debe ir dentro de un círculo y los nombres por fuera. Siempre se debe indicar el aumento o la escala de todos los dibujos.

Las descripciones también deben ser sencillas y claras, abocándose únicamente a lo observado sin prestar atención a los detalles teóricos no observados (esto debe ir como análisis de resultados).

El **cuaderno de campo** y laboratorio es una herramienta fundamental para el estudiante, ya que en él se apuntan todas las observaciones realizadas durante las prácticas, que sirven tanto para confeccionar el informe como para tener un registro de las actividades realizadas. El cuaderno de campo debe ser lo más resistente posible a agua, suciedad y raspones; siempre debe escribirse con lápiz o algo especial que sea resistente al agua, ya que de lo contrario todas las notas podrían perderse. Sin embargo, lo más aconsejable es el lápiz, porque se puede borrar fácilmente y su costo es considerablemente menor al de un marcador o micropunta a prueba de agua.

La fotografía es un medio muy eficiente de información de campo y posiblemente pueda llegar a reemplazar la necesidad de realizar múltiples esquemas. No obstante, después de haber tomado la fotografía no existe certeza sobre su calidad y precisión. Por lo tanto, los esquemas debe ser realizados aunque se hayan tomado fotografías, puesto que ambos son complementarios, debido a que el esquema puede mostrar partes no apreciables en la fotografía y la fotografía muestra el aspecto real del esquema. Además, resulta mucho más económico realizar esquemas desde diversos ángulos –cuando sea necesario– que sacar numerosas fotografías.

A continuación se describen las diez prácticas de laboratorio y campo que incluye este capítulo, al final de las mismas se puede encontrar una lista de bibliografía útil para la elaboración de los informes.

Práctica #1: El microscopio

INTRODUCCIÓN

Sin duda, uno de los pasos más significativos para el desarrollo de la biología fue el descubrimiento del mundo microscópico, que hasta hace dos siglos era desconocido. La invención del **microscopio** abrió las puertas al mundo que permaneció oculto a simple vista y que sólo gracias al microscopio es apreciable.

Partiendo de lentes y conjuntos de lentes simples, el microscopio ha se ido desarrollando y perfeccionando para adecuarse a las necesidades –cada vez mayores– de la ciencia. En la actualidad se cuenta con una gran variedad de microscopios cuya utilidad está muy relacionada a su uso.

OBJETIVOS

Objetivo general
Conocer el microscopio, su adecuado manejo y cuidado.

Objetivos específicos
- Conocer los distintos tipos de microscopio y su uso
- Conocer los distintos tipos de lente y su uso
- Aprender el correcto manejo y cuidado del microscopio
- Aprender las diferentes técnicas de microscopía

MATERIALES

- Microscopio simple
- Microscopio compuesto
- Microscopio estéreo
- Lente de inmersión
- Portaobjetos y cubreobjetos
- Micrómetro ocular
- Portaobjetos graduado
- Diferentes muestras de plantas (a proporcionar por el alumno)
- Bisturí, Pinzas y Gotero
- Tinciones y fijadores

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Primera parte: conozca su microscopio

Descripción general. La parte fundamental de todo microscopio es el lente de aumento. Un lente de aumento es una pieza de cristal pulido que puede ser cóncava o convexa, y gracias a propiedades ópticas del cristal tiene la facultad de agrandar la imagen. La combinación de varias lentes da como resultado el producto del aumento de cada uno estos (microscopio compuesto).

La figura 9–1 ilustra un microscopio tipo y sus partes, descritas a continuación.

Descripción de las partes. Las principales partes del microscopio son:
Partes del tubo:

- *Ocular:* Es el lente que va próximo a los ojos. Su valor es fijo y en algunos microscopios puede ajustarse a la prescripción médica de los anteojos.
- *Objetivo:* Es el lente que va próximo a la muestra y por lo general son de mayor aumento que el ocular. Normalmente los microscopios llevan varios objetivos que se van cambiando para seleccionar el aumento deseado.
- *Revólver:* En los microscopios compuestos, los objetivos se encuentran insertos en un disco giratorio que permite el cambio de objetivo, sin necesidad de extraer y reponer los objetivos.
- *Prisma:* Es la parte interna del tubo, donde se encuentra un juego de espejos encargados de reflejar las imágenes de los objetivos al ocular.

Partes del brazo:

- *Tornillo macrométrico:* Es la perilla de ajuste de aproximación, que sirve para enfocar la muestra.
- *Tornillo micrométrico:* Es la perilla de ajuste de precisión, normalmente es de menor tamaño que el tornillo macrométrico y sirve para aclarar la imagen enfocada.
- *Pinzas:* Son dos piezas metálicas que sirven para mantener fija la muestra en el microscopio y que pueden variar mucho de acuerdo al modelo.

Partes de la platina:

- *Reguladores de la platina:* En muchos microscopios, la platina posee dos tornillos de movimiento, uno vertical y el otro horizontal.
- *Diafragma:* Se encarga de regular la cantidad de luz que pasa a la platina desde la fuente luminosa. Este procedimiento es de bastante utilidad cuando se incrementa el aumento.
- *Condensador:* Se encarga de expandir o condensar en un punto el haz de luz.

Partes de la base:

- *Fuente de luz:* En microscopios antiguos se compone de un espejo con cierto ángulo de inclinación, en el cual se hace reflejar un haz de luz. En los microscopios modernos el espejo ha sido reemplazado por una bombilla eléctrica, normalmente halógena.
- *Tornillo y punto de inclinación:* Algunos microscopios permiten inclinar un poco la columna del mismo, para ello, se suelta un poco el tornillo de inclinación y se vuelve ajustar cuando se consigue la posición deseada.

Tipos y uso de diferentes microscopios. Existen diversos tipos de microscopio, que han sido creados de acuerdo a un uso específico, y a las exigencias cada vez más grandes y diversas de los investigadores, puesto que un solo tipo de microscopio no abastece para los diferentes usos que se precisan. Los principales tipos de microscopio son:

- *Microscopio simple:* Es aquel que se compone de una sola lente. Normalmente posee poco aumento, y es necesario para el

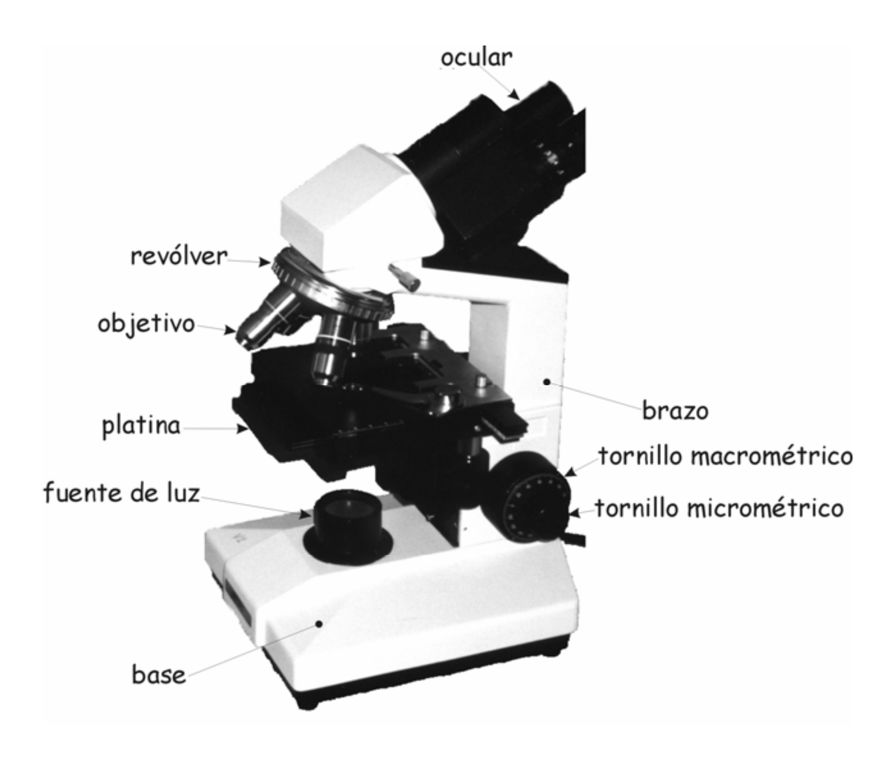


Fig. 9–1: Partes de un microscopio tipo.

trabajo en campo y para la observación de detalles que no necesitan de mucho aumento. Un microscopio simple, puede ser una lupa o cualquier otro lente de aumento (ver Fig. 9–2).

- *Microscopio compuesto:* Es aquel que se compone de un conjunto de lentes y por tal razón posee un mayor aumento. Esta definición abarca la mayoría de los microscopios que se emplean normalmente en un laboratorio. Estos pueden ser monoculares o binoculares (ver Fig. 9–3).
- *Microscopio estéreo:* Es un tipo muy especial de microscopio compuesto, siempre binocular, que si bien normalmente posee poco aumento, permite la visión en tres dimensiones y facilita la manipulación de la muestra al mismo tiempo que se la observa (ver Fig. 9–4).
- *Otros tipos de microscopio:* Existen muchos microscopios especiales que se emplean para fines específicos. El microscopio electrónico tiene la facultad de aumentar hasta más de 100.000 veces el tamaño de la muestra, permitiendo observar estructuras celulares a detalle; no obstante, presenta la desventaja de no poder observar material vivo. El microscopio de barrido y el microscopio de luz polarizada también permiten un mayor aumento que los microscopios compuestos simples. El ultramicroscopio permite la observación de ciertas características gracias al fondo oscuro. Finalmente, está el microscopio invertido, que es de gran utilidad para la observación de fitoplancton.

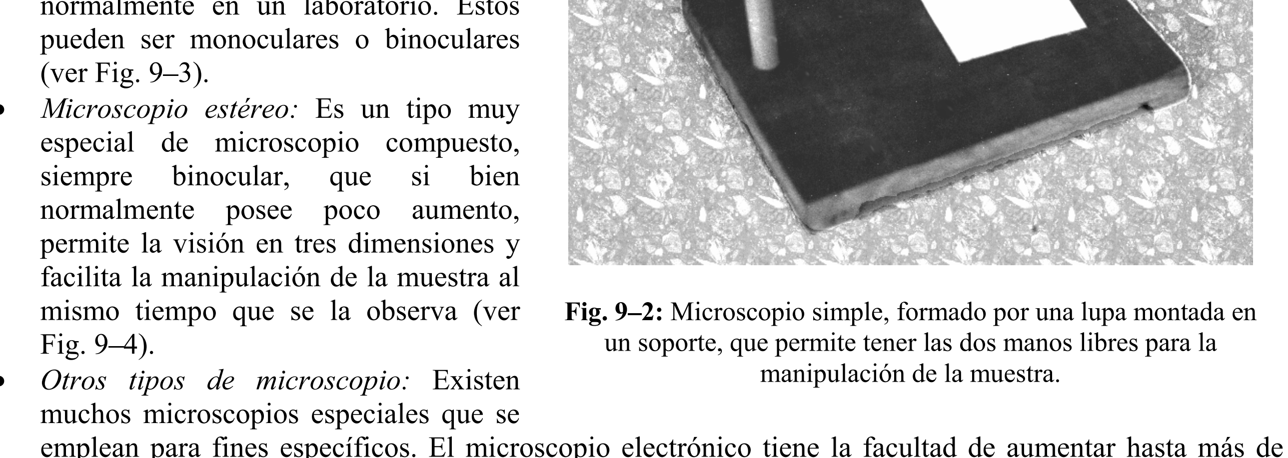


Fig. 9–2: Microscopio simple, formado por una lupa montada en un soporte, que permite tener las dos manos libres para la manipulación de la muestra.

Tipos de objetivos y su uso. Usualmente los microscopios compuestos poseen alrededor de cuatro objetivos con diferentes aumentos. La selección del objetivo debe realizarse de acuerdo a la muestra que se vaya a observar, ya que no siempre el de mayor aumento es el mejor. También conviene hacer observaciones en diferentes aumentos para tener una idea más completa de la muestra.

Los objetivos de inmersión normalmente son de alto aumento. Sobre el cubreobjetos se vierte una gota de aceite o glicerina y el lente de inmersión se sumerge en la gota. La proximidad con la muestra y la gota de aceite contribuyen a obtener una imagen más clara puesto que se elimina el aire entre el lente y la placa.

Fig. 9–3: Microscopio compuesto binocular.

Segunda parte: técnicas de microscopía

Cuidado y mantenimiento del microscopio. Antes de empezar a usar el microscopio es sumamente necesario aprender el correcto cuidado y mantenimiento del microscopio para garantizar su duración y precisión futura.

Para ello, se deben seguir las siguientes normas:

- Para transportar y extraer el microscopio de su estuche, se debe tomarlo con ambas manos, una en el brazo y otra en la base (Fig. 9–5) para evitar accidentes o caídas. Después de usar el microscopio, debe guardarse en su estuche para evitar que se empolve.

El microscopio debe colocarse en una mesa firme y horizontal, con el brazo hacia el cuerpo del observador y los objetivos hacia la pared, para evitar ensuciar y maltratar los mismos con la ropa y el cuerpo. Sin embargo, existen muchos modelos que están diseñados para ser manejados al revés, por lo que es muy importante que el estudiante pregunte al responsable sobre la posición más correcta en la que se debe trabajar.



Fig. 9–4: Microscopio estéreo binocular, con fuente de iluminación.

- En caso de trabajar con un microscopio que requiera electricidad, debe comprobarse el voltaje del mismo antes de conectarlo y las buenas condiciones de la clavija y la toma de corriente. Para desconectarlo se debe jalar de la clavija y no del cable.
- No tocar los lentes con la mano. Si se ensucian, se debe limpiarlos con papel especial para lentes (ver Fig. 9–6).



Fig. 9–5: Manera (a) errónea y (b) correcta de manejar el microscopio.

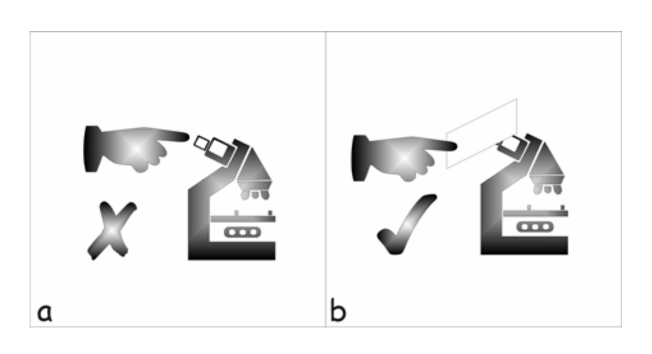


Fig. 9–6: Manera (a) errónea y (b) correcta de manipular y limpiar las lentes del microscopio.

- Siempre empezar y terminar con el objetivo de menor aumento, para evitar el roce de la placa con las lentes. Para cambiar de muestra también se debe poner al menor aumento.
- Tener especial cuidado con el tornillo macrométrico. Es recomendable observar la posición del objetivo en relación a la muestra cuando se mueve el tornillo macrométrico, ya que éste puede presionar el objetivo sobre la placa hasta romperla sin que el observador lo note, dañando el objetivo.

Cómo observar la muestra al microscopio

Primer paso: preparación y montado de la muestra. Para ello, se debe disponer de dos piezas importantes: el **portaobjetos** y el **cubreobjetos**. Sobre el portaobjetos se vierte una pequeña cantidad de la muestra y se añade una gota de agua, posteriormente se cubre la misma con un cubreobjetos.

Una vez que la placa está preparada, se procede a montarla sobre el microscopio. Para ello, se debe colocar el revólver en el menor aumento y lo más alejado posible de la platina. Abrir las pinzas de la platina y colocar la placa hasta que se ajuste a los bordes interiores y luego cerrar las pinzas.

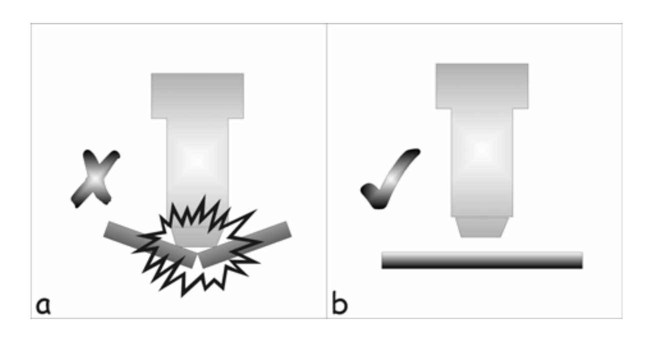


Fig. 9–7: Manera (a) errónea y (b) correcta de enfocar una placa.

Segundo paso: ubicación y enfoque de la muestra. Una vez que la placa ha sido colocada correctamente sobre la platina, se debe ubicarla en el centro de la platina (por donde entra la luz) con ayuda de los tornillos reguladores.

Cuando la muestra se encuentra al medio, se enciende la fuente de luz. Se ajusta lo más cerca posible a la platina el menor objetivo y con el tornillo macrométrico se va alejando el lente de la muestra hasta conseguir enfocar algo. Una vez enfocada la muestra, se ajusta la imagen con el tornillo micrométrico hasta aclararla lo más posible. En muchos casos es aconsejable balancear el micrométrico para observar detalles a diferentes alturas.

Una vez realizado el enfoque con el menor aumento, se puede proceder a cambiar de objetivo, ajustando simplemente el micrométrico, **nunca** el macrométrico (Fig. 9–7).

Tercer paso: selección del aumento: Para cada tipo de muestra, se debe escoger el aumento ideal, según el grado de detalle que se desee observar. Sin embargo, es aconsejable realizar por lo menos dos observaciones en diferentes aumentos para obtener una mayor perspectiva de la muestra.

Cuarto paso: medición de escala: En la mayoría de los microscopios es necesario utilizar unidades de medida mucho más pequeñas que los milímetros. Por lo general las mediciones se las realiza en micrómetros $1\mu m=10^{-3}m=10^{-6}mm$.

Para hacer precisas las mediciones se utiliza un **micrómetro ocular**. Éste es un pequeño disco de vidrio en donde se encuentran unas líneas uniformemente espaciadas y graduadas. El mismo es insertado en el objetivo ocular y asemeja una regla superpuesta a la muestra. No obstante, los microscopios varían de acuerdo al aumento que se este utilizando, entonces para que la escala sea precisa debe ser calibrada. Para este proceso se emplea un **portaobjetos calibrado** de la siguiente manera:

- Prepare el microscopio, ajuste la fuente de luz y verifique que se encuentre en poco aumento.
- Ponga el portaobjetos calibrado en la platina y enfoque cuidadosamente. Ahora las dos escalas deberían ser visibles (Fig. 9–8).
- Gire el tubo del ocular hasta que las dos escalas estén alineadas de forma paralela. Luego utilice los tornillos de ajuste para que las dos escalas queden completamente paralelas.
- En tu microscopio se podrá observar que sobre la platina y asociadas a los tornillos de ajuste se encuentran un par de escalas. Cada división en estas escalas corresponde a un número fijo de divisiones en la escala del micrómetro ocular.
- Ahora se ha concluido el calibrado del micrómetro ocular en el menor aumento y en este podrá realizar las mediciones directamente. Sin embargo, se deberán realizar ciertos ajustes al cambiar de aumento.

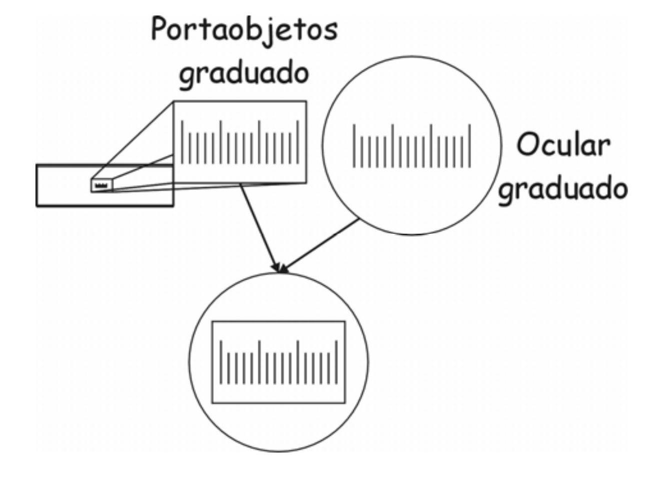


Fig. 9–8: Esquema que muestra cómo se determina la escala al microscopio.

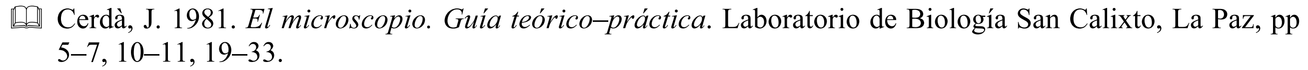
Quinto paso: tinción y fijación. La **tinción** es un proceso de cambio de color de algunas estructuras para facilitar su observación. Puesto que el citoplasma es un complejo acuoso, la distinción de ciertas

estructuras se hace muy complicada, por ello, se debe elegir un colorante apropiado para destacar la estructura que se desea observar (ver *Práctica 2*).

Los colorantes más comunes son el colorante de Gram (para bacterias), el yodo (para almidón), azul de metileno, verde de bromocresol.

La **fijación** es el proceso de conservar una muestra en el estado y forma original en que se montó. Para ello, se debe contar con una sustancia especial que preserve la muestra dentro de ambas placas de vidrio. La combinación de las técnicas de tinción y fijación dan por resultado interesantes placas.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA



- 🕮 Cerdà, J. 1981. *El microscopio. Guía teórico–práctica*. Laboratorio de Biología San Calixto, La Paz, pp 5–7, 10–11, 19–33.
- 🕮 King, M. 1976. *Técnicas de laboratorio para el médico rural.* Centro Regional de Ayuda Técnica, México DF, pp 1.16, 6.17.

Práctica # 2: La célula

INTRODUCCIÓN

La **célula** es la unidad básica **funcional** y **estructural** de todos los seres vivos. Existe una gran variedad de conformaciones celulares, que responden a las diferentes necesidades de los organismos. Las células vegetales presentan una serie de caracteres diferenciales respecto de las células animales (ver *Capítulo 3*) como la pared celular y las vacuolas, así como la ausencia de estructuras como los centriolos. Existen diversos tipos de células vegetales, según las funciones que éstas cumplan dentro la planta.

OBJETIVOS

Objetivo general
Identificar, observar y esquematizar diferentes tipos de células vegetales.

Objetivos específicos
- Identificar y esquematizar las estructuras celulares visibles
- Distinguir la pared celular mediante tinción
- Observar los fenómenos de turgencia y plasmólisis

MATERIALES

- Microscopio compuesto
- Porta y cubreobjetos
- Cajas petri
- Soluciones acuosas concentradas de sal y azúcar comunes
- Colorantes disponibles
- Bisturí y pinzas
- Diferentes muestras vegetales, como ser:
  - Un bulbo de cebolla
  - Hojas de angiospermas, gimnospermas y helechos
  - Flores, frutos y semillas

Nota: El material vegetal mencionado debe ser proporcionado por los estudiantes en la cantidad que se considere necesaria.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Primera parte: Observación de diferentes tipos de células vegetales

Para esta parte, se deben preparar diferentes muestras de células vegetales. Para ello, existen dos técnicas sencillas que pueden resultar de suma utilidad: La primera que consiste en raspar las hojas carnosas hasta conseguir una película delgada casi transparente, en algunos casos, se puede probar partir las hojas transversalmente de modo que quede una lámina delgada, la cual se extrae con ayuda de la pinza. La segunda forma consiste en realizar un pequeño corte cuadrado de aproximadamente un centímetro de lado, y con

ayuda del bisturí o de la pinza, se extrae una lámina lo más delgada posible, esta técnica se recomienda para bulbos. De esta manera, se podrán observar algunos tipos de células epiteliales.

Todas las muestras obtenidas deben introducirse inmediatamente en un recipiente con agua, para evitar que entren en un proceso de plasmólisis. Para llevar las muestras al portaobjetos, se debe introducir un lado de éste en el recipiente y llevar la muestra hasta el centro con ayuda de una pinza o una aguja. La muestra debe estar lo más extendida posible para evitar la superposición de células. Posteriormente, se realiza la observación al microscopio tal como se aprendió en la primera práctica.

Observar todas las placas fijadas disponibles en el laboratorio, para complementar y destacar los diferentes tipos de células, tomando en cuenta la ubicación, disposición y forma de las mismas, así como observando las características de la pared celular y la presencia de inclusiones.

Si se dispone de una muestra de algas (que se pueden obtener de una laguna o de una pecera) se debe proceder a montarlas de igual manera que con las muestras de células epiteliales.

Otras técnicas útiles son el frotis, que consiste en raspar una porción del tejido para observar ciertas estructuras como los granos de almidón; el aplastamiento, que consiste en destruir algunos tejidos haciendo presión con el cubreobjetos sobre la muestra para observar estructuras como células pétreas o xantoplastos. Para estos procedimientos, se debe seleccionar con cuidado la muestra a estudiar, puesto que un frotis es recomendable para ver estructuras de una manzana o un bulbo de papa, y el aplastamiento para la pulpa del tomate o del plátano.

En todas las observaciones, debe procurarse distinguir las partes de la célula, si hay estomas, tráqueas y otros.

Segunda parte: Observación con tinción

Se deben preparar muestras de frutos y semillas con las técnicas ya explicadas en la primera parte, y antes de colocar el cubreobjetos de debe aplicar un colorante que permita diferenciar la pared celular, tanto si éste tiñe únicamente ésta estructura o si es la única que deja sin teñir. Para ello se pueden emplear Sudán III, verde brillante, verde de bromocresol, azul de metileno o del que se disponga. El colorante se aplica sobre la muestra con un gotero, vertiendo la cantidad que se vea necesaria, se deja reposar unos segundos y el exceso se lava con unas gotas de agua.

Tercera parte: Observación de los fenómenos de plasmólisis y turgencia

Para esta última parte, se deben utilizar cortes de epitelio de cebolla. Para observar el fenómeno de turgencia, se debe introducir el corte en un recipiente que contenga un cierto volumen de agua destilada. Para observar el fenómeno de plasmólisis se debe introducir la muestra en un recipiente con una solución concentrada de sal o azúcar. Después de cada uno de estos procedimientos, se observan las muestras al microscopio.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

🕮 Cerdà, J. 1981. *El microscopio. Guía teórico–práctica*. Laboratorio de Biología San Calixto, La Paz, pp 49–52.

Práctica # 3: Potencial hídrico

INTRODUCCIÓN

El potencial hídrico es uno de los tres principios que rigen el movimiento del agua y de los líquidos en general. Se define como la diferencia de energía potencial del agua (véase *Capítulo 4*) o la tendencia neta de las moléculas de agua a moverse de un lugar a otro. El agua se mueve desde una región con mayor concentración a otra región con menor concentración.

Cuando una célula es colocada en una solución con mayor concentración de agua que ella, se dice que la solución es hipotónica y cuando es lo opuesto se dice que la solución es hipertónica. En el primer caso el agua tiende a entrar a la célula porque el potencial hídrico de la solución es mayor y en el segundo caso ocurre exactamente lo contrario. Además, de estos dos casos existe la posibilidad de que la colusión en la que se coloca una célula sea isotónica. Es decir la solución tenga la misma concentración que los fluidos de la célula. En este último caso se podría decir que las moléculas están distribuidas uniformemente y el potencial hídrico de la célula es igual al de la solución. Se puede decir, también en este caso, que la cantidad de solutos disueltos en la célula es igual a la cantidad de solutos disueltos en la solución.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el potencial hídrico de las células de un tubérculo de papa por el método del pesado.

Objetivos específicos

- Observar a que concentración, aproximadamente, la solución tiene la misma densidad que el tubérculo.
- Observar el efecto de una solución isotónica, hipotónica y otra hipertónica en las células de un tubérculo de papa (*Solanum tuberosum*).
- Determinar el potencial hídrico de las células del tubérculo de papa por diferencia de peso.

MATERIALES

- 11 Tubos de ensayo
- Gradilla para tubos
- Pinzas
- Bisturí o navaja
- Balanza con una resolución mínima de 0,1g.
- Papel filtro o papel secante
- Agua destilada
- Azúcar o glucosa

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1) Rotule los 11 tubos con: 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 y 1.0 mol dm^{-3}. Llene el primer tubo aproximadamente hasta la mitad con agua destilada. El resto de los tubos llénelos con la concentración correspondiente de solución de glucosa o sacarosa.

2) Ahora que ya tiene las soluciones listas prepare, 11 cilindros o rectángulos de papa de aproximadamente 10 mm de diámetro y 50 mm de longitud. Prepare cada cilindro en un papel filtro o en una pieza de papel secante debidamente rotulado con lápiz. Es decir, que rotule los papeles de la misma forma que los tubos, de manera que sepa qué papel y cilindro va con qué tubo.

3) Registre el peso de cada cilindro en su papel. Luego utilizando las pinzas transfiera cada cilindro a uno de los tubos de ensayo preparados. Después, registre el peso de cada papel por si solo y calcule el peso de cada cilindro.

4) Anote cual fue el comportamiento de los cilindros de papa al ser colocados en los tubos. Luego grafique cada tuvo con la posición inicial del cilindro. Debería observarse algo parecido a lo que se muestra en la figura 9–9.

5) Después de por lo menos 25 minutos retire los cilindros de los tubos. Utilice un papel filtro o papel secante, no rotulado, para secar rápida y suavemente el líquido sobre la superficie de cada cilindro de papa. NO APRIETE EL PAPEL CONTRA LA PAPA y proceda a devolver cada cilindro a su papel rotulado. Pese nuevamente el papel con el cilindro.

6) Calcule en que porcentaje cambió la masa de cada cilindro y realice una tabla y una gráfica con sus datos.

7) Analice sus datos con el catedrático, discuta el porque del comportamiento de los cilindros al ser puestos en cada tubo y porque la variación de peso de cada cilindro. Finalmente establezca cual es el potencial hídrico del tubérculo de papa utilizado.

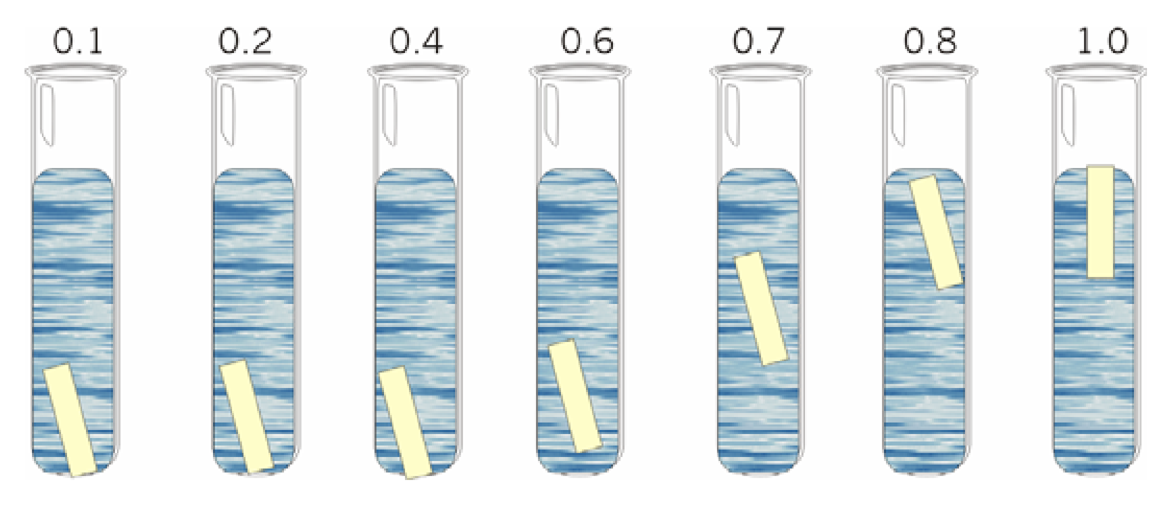


Fig. 9–9: Este esquema ilustra el resultado que se espera obtener luego de someter los cilindros de papa a soluciones de diferente concentración.

Para la preparación de las soluciones a diferente concentración, se puede preparar la solución más concentrada y a partir de ella, realizar diluciones para conseguir las demás concentraciones. Para preparar una solución de 1mol dm^{-3} (la solución más concentrada), se debe tomar en cuenta dos cosas: (1) un mol de glucosa equivale a su peso molecular, que es de 180g/mol y lo mismo para la sacarosa (peso molecular:

342g/mol); (2) se debe tomar en cuenta que un decímetro cúbico (dm^3) es equivalente a 1 litro. Por lo tanto, también puede trabajarse en unidades de molar –a conveniencia– porque son equivalentes a mol dm^{-3}.

El proceso de dilución para preparar soluciones de menor concentración es muy sencillo. Éste consiste en tomar un cierto volumen de la sustancia concentrada y agregar agua destilada hasta completar un determinado volumen para obtener la concentración deseada. Para esto, se emplean matraces aforados de un volumen conocido, y se utiliza la siguiente ecuación general: $V_1*C_1=V_2*C_2$ que significa que el producto del volumen de la sustancia uno por su concentración, es igual al producto de la sustancia dos por su concentración.

De la ecuación anterior, despejamos la siguiente fórmula: Vc=Vm*Cf / Cc
donde Vc es el volumen de concentrado que hay que agregar, Vm es el volumen del matraz aforado, Cf es la concentración final a la que queremos llegar, y Cc es la concentración de la sustancia más concentrada.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

📖 Brown, C. 1996. *Guía de prácticas de biología*. No publicado. UWC Canadá.

Práctica # 4: Movimiento del agua en la planta

INTRODUCCIÓN

El agua es una de las substancias más importantes para la vida (véase *Capítulo 3*). Este líquido vital es incorporado en las plantas vasculares por las raíces y luego transportado por el tallo hacia el resto de los órganos aéreos de la planta. Finalmente el agua sale de las hojas en forma de vapor. La planta debe aprovechar la fuerza que genera la evaporación del agua en las hojas y las características propias del agua para poder absorber y transportar el agua desde el suelo (véase *Capítulo 4*).

Como ya se dijo, una de las fuerzas motrices del ascenso del agua por la planta es la evaporación en las hojas. Esta transpiración de las hojas y tallos ocurre gracias a unas aperturas denominadas estomas (véase *Capítulos 3* y *4*) y es difícil de medir directamente. Sin embargo, es relativamente fácil hacerlo indirectamente, midiendo la cantidad de agua que la hoja absorbe. Esto se logra gracias a un instrumento denominado **potómetro** y aunque existen instrumentos más precisos, estos no superan al potómetro en su sencillez y bajo costo. El instrumento es relativamente sencillo y deberá ser construido por el estudiante en la presente práctica.

Otra utilidad del potómetro es el poder utilizarlo para determinar, aproximadamente, la distribución de las estomas en la planta. Los estomas suelen estar en la superficie inferior de la hoja, pero en muchos casos la distribución entre las superficies de la hoja es equitativa y en otros hay mayor cantidad de estomas en la superficie superior de la hoja. Las diferencias de distribución de los estomas se deben fundamentalmente a las características del medio en el que vive la planta.

OBJETIVOS

Objetivo general
Medir la tasa de transpiración de las hojas de una planta dada y determinar donde se localizan la mayor parte de los estomas.

Objetivos específicos
- Observar la absorción del agua de una hoja
- Calcular la tasa de transpiración aproximada por hora de las hojas adultas de una planta determinada planta.
- Determinar en cual de las superficies son más abundantes los estomas en tres diferentes hojas.
- Relacionar las condiciones en las que vive la planta con la distribución de los estomas.

MATERIALES

- 2 jeringas lo más gruesas posible.
- 1 jeringa de 5 ml como máximo.
- Un tubo de suero de por lo menos 8 cm.
- Un regulador de paso para el tubo de suero.
- Embudo
- Bisturí o navaja afilada
- Dos soportes (opcional)

- Vaselina
- Un marcador indeleble
- Hojas con pecíolo no muy corto de tres diferentes plantas (tenga cuidado de que no sean hojas jóvenes y que sean muy frescas). Trate de que al menos una de las hojas sea de una planta que viva en la superficie del agua.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Primera parte: Armado del potómetro

El potómetro deberá ser construido de acuerdo con la figura 9–10. El primer paso es calibrar el tubo de suero (en la figura pieza 3). Para tal efecto se procederá a llenar el tubo con la jeringa más pequeña (en la figura pieza 6). Inicialmente llene el tubo (3) con agua solo hasta el punto de inserción de la burbuja (en la figura pieza 5). El llenado deberá ser en la dirección en la que apunta la flecha en la figura 9–10. Luego vea donde se encuentra el émbolo de la jeringa con la que está llenando el agua (6) y proceda introducir más agua pero en pequeñas cantidades. Intente introducir solo 0,1ml, si resulta muy difícil introduzca 0,2ml, pero si aún resulta muy difícil introduzca 0,5ml (en algunas jeringas pueda que se tenga cm^3, pero ello no es problema porque un ml es equivalente a un cm^3). Después de introducir cada cantidad de agua proceda a marcar el tubo. Si es que ha tenido que introducir directamente 0,5ml subdivida el tubo hasta la marca en 5 parte iguales.

Ahora que está calibrado el tubo (3), proceda a colocar las jeringas en sus lugares correspondientes. Una vez armado el aparato proceda a asegurar las jeringas grandes (en la figura, piezas 1 y 2). Tenga cuidado que el tubo de suero (3) esté totalmente recto y en posición horizontal. Además, las jeringas grandes (1) y (2) deben estar al mismo nivel y completamente verticales. El regulador de paso (en la figura pieza 4) debe estar lo más próximo posible a la jeringa (1).

La pieza 7 de la figura 9–10 no es más que la goma del embolo de una de las jeringas grandes. En esta goma se debe hacer una incisión lo más pequeña posible, pero lo suficientemente grande para dejar pasar (pero no con soltura) al pecíolo de la hoja que se vaya a utilizar. Es preferible que se introduzca el pecíolo cuando la goma no está colocada en la jeringa. Una vez colocada la goma (7) en la jeringa (1) se utilizará la vaselina

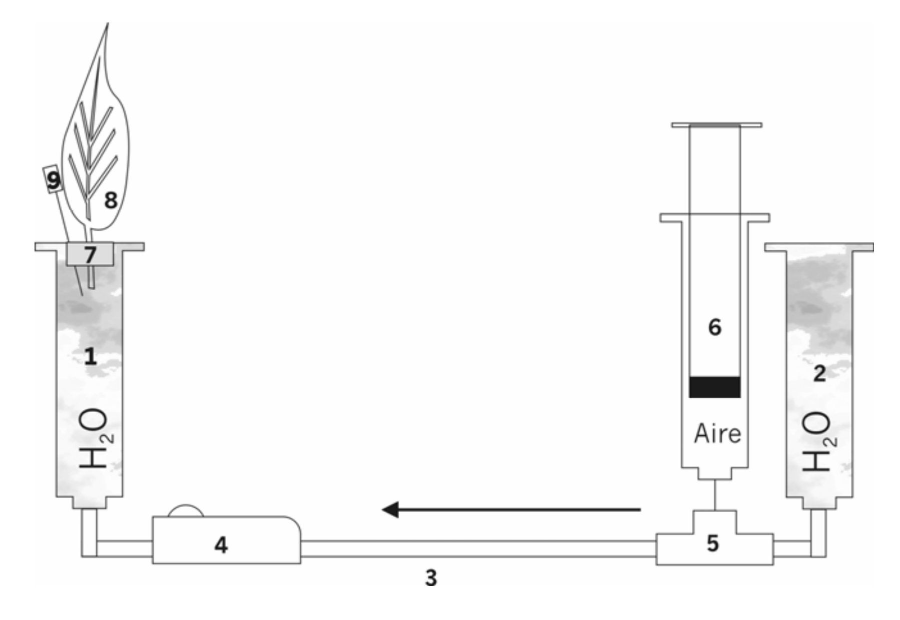


Fig. 9–10: Esquema de las partes que conforman un potómetro.

para sellar los bordes de la goma y el lugar por donde está entrando el pecíolo. Todo esto para evitar filtraciones.

Finalmente antes de introducir la burbuja y empezar el experimento se introducirá una aguja (en la figura pieza 9), de una de las jeringas, en la goma (7). Después de introducida la burbuja la aguja (9) deberá ser retirada cuidadosamente y el lugar donde fue introducida cubierto con vaselina.

Segunda parte: Transpiración de la hoja

Ahora que el potómetro ya está totalmente armado se procederá a obtener las hojas para observar la transpiración. Es muy importante que la hoja sea extraída de la planta solo momentos antes de empezar la experimentación, ya que de otra forma es posible que sus tejidos mueran o se bloqueen los tejidos conductores haciendo inviable el experimento.

Luego de que la hoja ha sido extraída de la planta, la punta del pecíolo deberá ser cortada bajo el agua. De esta forma se reducirá la posibilidad que los tejidos conductores se bloqueen. Inmediatamente después debe colocarse la hoja en la goma (7) y colocarse, junto con ésta, en su lugar en el potómetro. Para hacer más fácil su colocación se puede utilizar la aguja (9). Debe evitarse la formación de burbujas en la jeringa (1) al colocar la hoja (8) y la goma (7) en posición. Como ya se indicó anteriormente selle con vaselina todos los puntos en los que podría producirse alguna filtración.

Ahora introduzca una pequeña burbuja de aire con la jeringa (6) en el dispositivo (5). La burbuja deberá ser pequeña para que no desplace mucha agua al ser introducida, pero lo suficientemente grande para cubrir todo el diámetro del tubo de suero (3). Una vez introducida la burbuja retire el aguja (9) y selle su orificio. Anote donde se encuentra la burbuja, anote su movimiento (si es que hay alguno a los 15 minutos) y luego tome nota del desplazamiento de la burbuja cada media hora. La burbuja deberá desplazarse en la dirección que indica la flecha, pero no se alarme si es que después de la primera media hora no parece desplazarse.

Si la burbuja ya está llegando a la jeringa (1) use el regulador (4) para cortar el flujo de agua y vacíe el tubo de suero (3) y vuelva a llenarlo para volverlo a utilizar.

Nota: Es importante que la burbuja quede al lado izquierdo del dispositivo (5), es decir, del lado de la jeringa (1). Para lograr esto se puede tapar temporalmente la jeringa (2), pero se debe tener cuidado al destaparla para iniciar el experimento. Al destapar la jeringa (2) la burbuja podría moverse y ello se debe evitar.

Tercera parte: Distribución de estomas

Escoja tres hojas de más o menos el mismo tamaño de una determinada planta, pero solo extraiga una. Con la primera hoja extraída siga el mismo procedimiento que en la segunda parte del experimento. Luego de haber realizado las mediciones con la primera hoja extraiga la segunda, pero antes de ponerla en el potómetro cubra de vaselina su superficie inferior. Luego extraiga la tercera hoja y en este caso tendrá que cubrir con vaselina la superficie superior de la hoja. Compare los datos de las tres hojas y determine donde tiene mayor cantidad de estomas la hoja.

Para hacer más interesante esta parte diferentes estudiantes o grupos pueden realizar el experimento con hojas de diferentes plantas, para así comparar la distribución de los estomas en cada planta. Además, si se quiere verificar los resultados se debe hacer el experimento por triplicado o al menos por duplicado.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

🕮 Azcon–Bieto, J. & M. Talón. 1993. *Fisiología y Bioquímica Vegetal.* McGraw–Hill•Interamericana, Madrid, pp 49–90.

Práctica # 5: Pigmentos fotosintéticos

INTRODUCCIÓN

La fotosíntesis es el proceso por el cual los organismos vegetales sintetizan compuestos energéticos a partir de agua y dióxido de carbono (véase *Capítulo 4*). Para ello, se requieren de pigmentos específicos, que son capaces de absorber la energía lumínica y transformarla en energía química.

En laboratorio, se pueden observar interesantes reacciones de los pigmentos fotosintéticos *in vitro*, y si se dispone de un espectrofotómetro, inclusive se puede medir el espectro de absorbancia de los mismos.

OBJETIVOS

Objetivo general
Determinar la presencia de pigmentos fotosintéticos en una muestra vegetal.

Objetivos específicos
- Observar la existencia y funcionamiento de los pigmentos fotosintéticos mediante la fluorescencia
- Observar la degradación de la clorofila
- Observar y graficar el espectro de absorción de los pigmentos fotosintéticos mediante el espectrofotómetro

MATERIALES

- Tubos de ensayo
- Papel filtro
- Mortero
- Embudo
- Alcohol etílico al 96%
- Agua destilada
- Espectrofotómetro
- Proyector de diapositivas
- Muestras vegetales de hojas verdes frescas fáciles de moler (a proporcionar por el alumno)

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Primera parte: Determinación de los pigmentos fotosintéticos

Preparación del extracto de pigmentos: Con la ayuda del mortero, se muelen bien las hojas frescas hasta obtener una pasta homogénea. A esta pasta se le adicionan de 20 cm^3 de etanol, y se mezcla bien, para luego filtrar el primer extracto a otro tubo usando un embudo convencional y papel filtro. Conservamos el primer extracto. Se repite el proceso con el decantado añadiendo de 10 a 20 cm^3 cada vez hasta que el líquido adquiera con color ceniza. No usar más de 100 cm^3 de etanol en total.

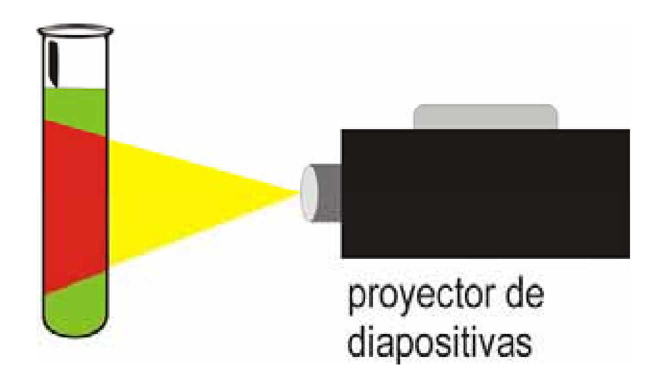


Fig. 9–11: Fluorescencia de pigmentos fotosintéticos por la acción directa de la luz.

Se debe separar el primer extracto en dos porciones iguales, una para la determinación del contenido clorofílico y otra para la prueba de fluorescencia.

Determinación del espectro de absorbancia: Para determinar el espectro de absorción del extracto clorofílico, a la muestra previamente separada se añaden 10 cm^3 de agua destilada y se enrasa con solvente orgánico (etanol, o en su defecto acetona) hasta completar los 100 cm^3.

La absorbancia del extracto clorofílico se la puede medir mediante un espectrofotómetro de longitud de onda fija, haciendo un barrido entre los 400 y 700 nm de longitud de onda, a intervalos de 10 o 20nm, en el sector de 647 a 664 nm el barrido debe hacerse de 1 en 1 puesto que es la zona de mayor variación. Posteriormente se compara con una lectura del etanol diluido al 80% como blanco. Si se dispone de un espectrofotómetro de barrido, el equipo se encarga de realizar la curva de absorción automáticamente.

Las siguientes fórmulas describen la relación de concentración y absorbancia para los extractos a longitudes de onda de 647 y 664 nm:

$$\text{Clorofila a (mg/100 cm}^3\text{)} = 1.178 \times E\ 664 - 0.229 \times E\ 647$$
$$\text{Clorofila b (mg/100 cm}^3\text{)} = 2.005 \times E\ 647 - 0.477 \times E\ 664$$

Donde E es la densidad óptica del extracto obtenido.

Con los resultados de la lectura en el espectrofotómetro, graficar la absorción de luz según la longitud de onda aplicada al extracto, y comparar el resultado obtenido con la figura 4–11 del *Capítulo 4*. ¿Son los espectros similares? ¿en qué se diferencian?, discuta estos aspectos en su informe.

Segunda parte: Fluorescencia y degradación de la clorofila

Con la segunda mitad del primer extracto, se procede a comprobar la fluorescencia de los pigmentos fotosintéticos. Para ello, se debe colocar el tubo delante de una pantalla de color negro (por ejemplo, un trozo de cartulina o tela), seguidamente se proyecta sobre el tubo la luz del proyector de diapositivas y en ese instante se deberá observar una coloración roja intensa, producto de la emisión de luz a causa de la excitación de la clorofila (Fig. 9–11).

Para observar la degradación de la clorofila, se añaden poco a poco unos 10 cm^3 de agua destilada al tubo donde se está observando la fluorescencia, y se verá que conforme se va añadiendo el agua destilada

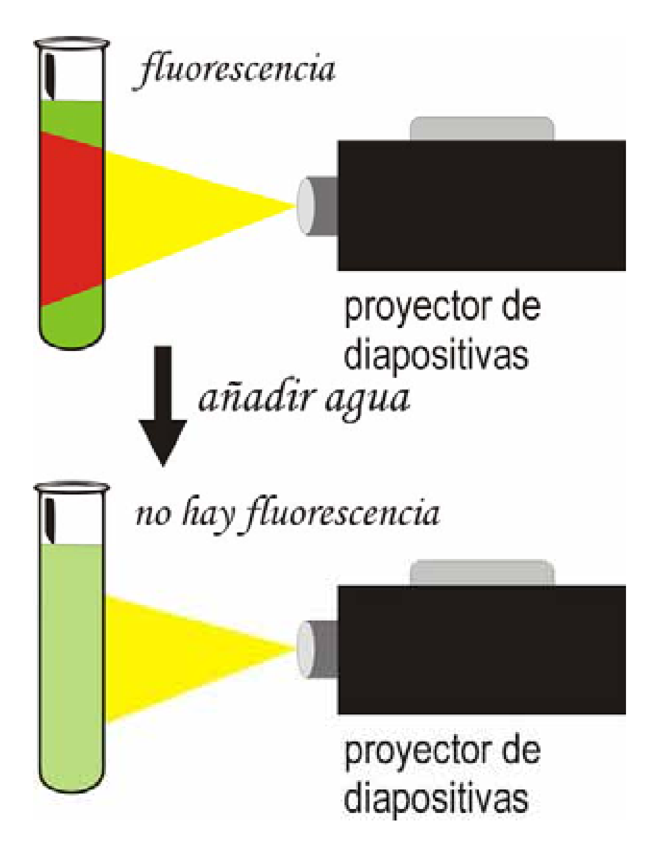


Fig. 9–12: Pérdida del fenómeno de fluorescencia por adición de agua destilada.

al extracto, este pierde la coloración roja (Fig. 9–12). ¿Por qué sucede este fenómeno?, discuta sobre este aspecto en el informe.

También es posible realizar la prueba de fluorescencia con la ayuda de una lámpara de rayos UV. Para ello debe contarse con una adecuada protección de los ojos, o –lo que es más fácil– con la ayuda de una lámpara de "luz negra" común. Con esta técnica, es posible apreciar mejor la fluorescencia de la clorofila (Fernández & Johnston, 1986).

Bibliografía de referencia

📖 Fernández G. & M. Johnston. 1986. *Fisiología vegetal experimental*. Editorial IICA, San José, pp 25–26.

Práctica # 6: Técnicas y equipo de campo
(salida de campo)

INTRODUCCIÓN

El trabajo en campo es fundamental para el biólogo. Para realizar este trabajo, existen diversas técnicas y materiales que permiten al investigador la colección de muestras de una manera correcta y sencilla.

Las colecciones botánicas realizadas en el campo, son de mucha utilidad tanto para estudios sobre las mismas como para ser conservadas en pliegos de herbario.

En esta práctica se dan las bases para la colección y herbarización de muestras vegetales, por ello es importante que esta práctica se realice en una salida de campo y no en aula.

OBJETIVOS

Objetivo general
Aprender y practicar las técnicas de trabajo en campo y el uso de equipo especial para la colección y conservación de muestras vegetales.

Objetivos específicos
- Aprender a llevar un cuaderno de campo
- Aprender el uso de los diferentes instrumentos según el tipo de espécimen a coleccionar
- Aprender las técnicas de prensado, transporte y herbarización de las muestras obtenidas

MATERIALES

- Pico de loro, tijeras de podar, cuchillos, serrucho, diversas palas, machete
- Bolsas, bolsas plásticas, bolsas ziploc, frascos
- Prensa y correas
- Periódicos, cartones corrugados, calaminas y fieltros
- Cámara fotográfica, altímetro, GPS, lupa de campo, binoculares

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Primero, se debe seleccionar el lugar de estudio viendo que en éste exista la mayor diversidad vegetal posible y que sea un lugar propicio para el trabajo en campo. No vale la pena escoger un lugar muy alejado, porque como la práctica es corta, se perdería más tiempo viajando que trabajando.

Se colectan las muestras empleando el equipo de campo, según se necesite –por ejemplo– se debe utilizar el pico de loro para cortar ramas elevadas, las tijeras para cortar partes a la altura del cuerpo y las palas para extraer plantas completas, el serrucho se emplea para tallos duros o gruesos y el machete para coleccionar cactáceas. Las muestras deben llevarse en bolsas o frascos, según se vea conveniente.

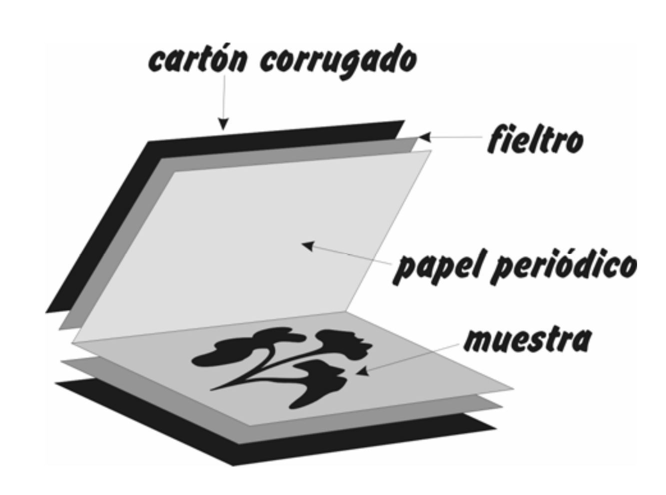


Fig. 9–13: Preparación de las muestras para el prensado.

Es importante tratar de recolectar todas las partes importantes de las plantas, si éstas son pequeñas se debe llevar la planta completa, y si son de mayor tamaño se deben llevar muestras de todos los órganos posibles, en especial los órganos reproductores, si se encuentran. Debe tomarse muy en cuenta, que las estructuras reproductoras de las plantas, la mayoría de las veces son el principal criterio para su clasificación, por lo tanto, la colección de material estéril puede llevar a que éste sea imposible de clasificar.

Para transportar las plantas dentro el sitio de trabajo se pueden emplear bolsas, sacos o frascos, a conveniencia. Una vez que se ha terminado la toma de muestras, se debe proceder a preparar el material botánico para ser transportado hasta el herbario, para ello las muestras deben contar con la siguiente información:

- Fecha de la colecta
- Nombre del colector(es)
- Ubicación geográfica y altitud del lugar
- Descripción completa del lugar
- Descripción completa de la planta, haciendo énfasis en la forma, color, olor y otras características que pueden perderse al herbarizarse
- Nombre vernacular, familia, género y especie (en lo posible)

Estos datos normalmente se consignan en el cuaderno de campo y a cada muestra se le asigna un número, el cual debe ir junto a cada espécimen colectado, y también es útil que se incluya la especie (si se conoce) junto con la muestra. El cuaderno de campo es una herramienta de suma utilidad que va a servir para darle valor científico a la colección que se está realizando. Por ello, los datos consignados en el mismo deben ser lo más exactos y detallados posible. Además se debe tener en cuenta que un cuaderno de campo debe ser legible y comprensible tanto para el colector como para cualquier otra persona que vaya a leerlo o trabajar con él (por ejemplo, personal especializado del herbario).

Una vez que se tienen las muestras colectadas, es importante prepararlas para su transporte. Para ello se coloca cada muestra por separado en medio de dos o más hojas de papel periódico (los márgenes del papel periódico son un buen lugar para apuntar número y especie de la muestra). Es importante colocar a muestra dentro de las hojas de papel periódico en una posición en la que se aprecie bien la planta, que se vean las hojas del haz y el envés y en general que haya una buena apreciación de la muestra. Si la planta tiene muchas hojas o raíces muy grandes, deben podarse algunas a fin de evitar que la muestra prensada sea un cúmulo de órganos donde no se pueda apreciar bien ninguno de ellos.

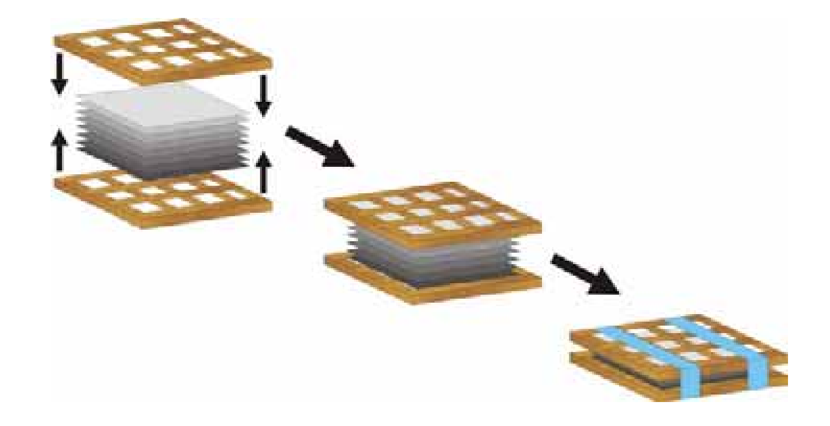


Fig. 9–14: Prensado de muestras vegetales.

Cuando se ha terminado de colocar todas las muestras adecuadamente entre papel periódico, se procede a colocar a ambos lados de ella láminas de fieltro (del tamaño del papel) y por fuera de ellas (a manera de un emparedado) láminas de cartón corrugado (Fig. 9–13). Entre cada dos o tres muestras con toda esta preparación se colocan calaminas (del tamaño del "paquete") para evitar que algunas muestras estropeen a otras. Una vez terminado este proceso, se coloca la pila de muestras y materiales entre dos prensas (usualmente de madera) las cuales se aseguran fuertemente con dos correas (Fig. 9–14).

Muestras tales como hongos, líquenes o musgos pueden conservarse mejor en bolsas ziploc o en frascos. El FAA (formol, alcohol y ácido acético) es un medio que permite la conservación del material.

En cada prensa pueden caber varias muestras, dependiendo de la capacidad de las mismas. Una vez que se regresa del campo, se deben colocar las prensas tal cual se armaron en el campo a una secadora de muestras (este equipo se encuentra en todos los herbarios importantes), donde permanecerán uno a varios días hasta que los vegetales se sequen completamente. Es conveniente dar la vuelta a la prensa diariamente para evitar que un lado se seque más que el otro, o incluso llegue a quemarse.

Debe tomarse en cuenta que la secadora de herbario es un artefacto que funciona con calor, y un descuido puede ocasionar que el papel, las muestras o la prensa lleguen a incendiarse por exposición prolongada al calor, causando graves problemas, por esta razón se debe hacer un control diario de las muestras en secadora.

Luego de que las muestras han salido de la secadora, cuidadosamente se retira la prensa, los cartones, los fieltros y las calaminas. Las muestras quedan listas dentro las hojas de papel periódico. Si las muestras han quedado muy oscuras o quemadas (de color negro) es porque han estado muy expuestas a la secadora y se han estropeado. Una buena muestra es aquella que ha quedado seca pero ha mantenido la mayoría de sus características y su color.

La muestra que ahora se encuentra entre hojas de periódico debe ser clasificada y se debe elaborar una ficha de herbario para la misma (Fig. 9–15), según los procedimientos detallados en el *Capítulo 5*.

Finalmente, las muestras son montadas sobre pliegos de cartulina tamaño doble oficio, donde se incluye además la ficha de herbario. Para realizar el montaje se debe usar hilo o material especial, y no cinta adhesiva convencional, ya que ésta no permite desmontar la muestra sin desprender trozos de la misma. El pliego terminado, se conserva en armarios, según el orden que el coleccionista o el herbario le de.

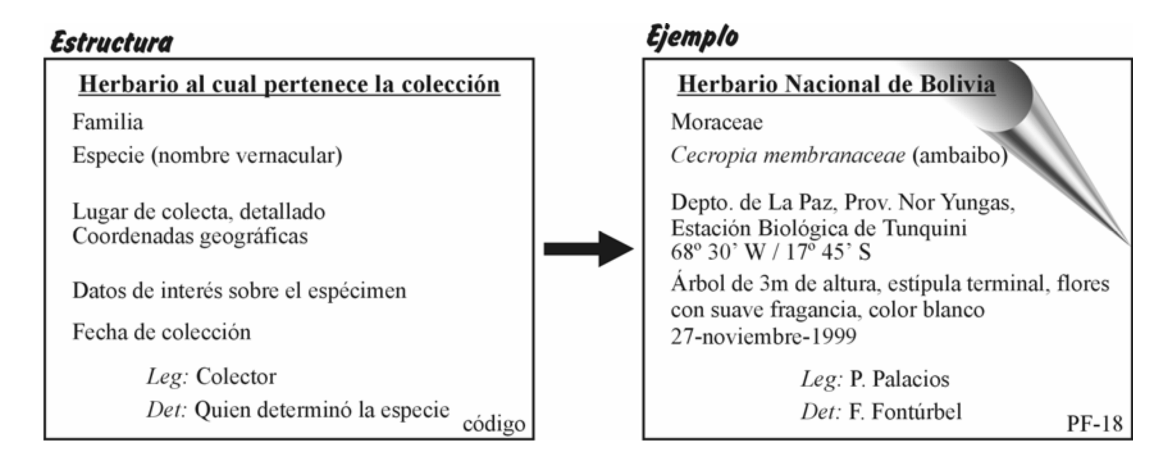


Fig. 9–15: Modelo de ficha tipo de herbario, que incluye todos los datos necesarios.

Práctica # 7: Simulación de la selección natural

INTRODUCCIÓN

La teoría de la selección natural planteada por Darwin en 1859, ha revolucionado el concepto de evolución de las especies, mediante la consigna de la sobrevivencia de los más fuertes. Darwin basó su teoría en la observación de diversas variaciones en muchas especies. En esta práctica se verá la variación de una sola característica, el color.

El medio: el mantel colorido
La especie: las hojuelas de papel
Reproducción: asexual
Predadores: *Homo sapiens* (pertenecientes a la clase)

OBJETIVOS

Objetivo general
Obtener un mejor entendimiento de la selección natural

MATERIALES

- Manteles con motivos florales de muchos y diversos colores
- 10 diferentes colores de hojuelas de papel (hechas con la ayuda de una perforadora, de manera que sean del mismo tamaño y forma)

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Sobrevivencia de los más fuertes

El desarrollo de la práctica es simple, y debe seguir estos puntos:

- Extender el mantel sobre una mesa cualquiera
- Crear una población de cien hojuelas de papel (10 de cada color)
- Mezclar bien todas las hojuelas
- Distribuir la población sobre el mantel florido de forma equitativa
- Ubicar cinco predadores dando la espalda al hábitat (mesa)
- Los predadores deberán girar al mismo tiempo y recoger la primera hojuela que vean, repetidas veces, hasta que queden 25 hojuelas en la mesa (15 veces)
- Remover las hojuelas del hábitat y clasificarlas por color
- Cada hojuela "sobreviviente" produce tres descendientes (nuevas hojuelas)
- Mezclar la nueva población y repetir el procedimiento varias veces
- Al final, observar qué colores desaparecen o se reducen significativamente y cuales predominan.
- Hacer una tabla y una gráfica de los resultados obtenidos, indicando las generaciones y el número de individuos de cada color

Radiación adaptativa

Para comprobar la radiación adaptativa de las especies, se debe repetir el procedimiento anterior con varios manteles de diferentes colores y motivos florales. Con esto, se debería observar que cada mantel influye de manera diferente sobre las hojuelas debido al color de ambos.

La gráfica resultante de las tres primeras generaciones debería ser muy similar a la gráfica del **principio de exclusión competitivo** que se puede encontrar en bibliografía. En el informe se debe tratar de explicar por qué sucede esto.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

🕮 Darwin, C. 1992. *El origen de las especies*. Traducido por Ediciones Grijalbo del original On the origin of the species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life (1859), Ediciones Planeta–Agostini, Barcelona, pp 9–14, 142

Práctica # 8: Reproducción vegetal y ciclos de vida

INTRODUCCIÓN

Las plantas presentan una gran diversidad en cuanto a sus formas de reproducción y ciclos de vida. La perpetuación de las diferentes especies de plantas ha conducido a una gran diferenciación. A ello se debe la existencia de una gran variedad de formas de reproducción. Los vegetales presentan en especial una gran cantidad de variantes en cuanto a estructuras reproductoras debido a que en general no poseen movilidad y deben asegurar su descendencia por estos medios. Tales estructuras reproductoras son la respuesta evolutiva a las presiones y exigencias ambientales donde habitan.

Cuando se estudia la reproducción no se pueden dejar de estudiar los ciclos vitales, puesto que entre ambos fenómenos existe una estrecha relación. Es así que muchas veces la forma de reproducción del individuo depende del ciclo de vida característico y la fase en que se encuentren. Además, para la observación y comprensión de la reproducción es indispensable que el investigador pueda determinar el estadio en el que la muestra se encuentra.

OBJETIVOS

Objetivo general
Observar las características de las estructuras reproductoras vegetales más comunes.

Objetivos específicos
- Comparar las estructuras reproductoras en los diferentes grupos vegetales
- Comprender el funcionamiento de los diferentes tipos de estructuras reproductoras

MATERIALES

- Microscopio y microscopio estéreo
- Lámparas
- Agujas histológicas, bisturí y pinzas
- Porta y cubreobjetos
- Goteros
- Cajas petri
- Material vegetal de los diferentes grupos vegetales, donde hayan estructuras reproductoras

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Se deben obtener diversas muestras vegetales frescas haciendo énfasis en conseguir estructuras reproductoras, es decir: esporangios, cuerpos frucales, estróbilos, flores, frutos y semillas. Posteriormente, se estudian todas las estructuras, y con ayuda de bibliografía se determina el tipo de reproducción al que corresponde (sexual o asexual).

Una vez realizada la observación externa de las diferentes estructuras, se procede a realizar diferentes cortes de las mismas para poder apreciar la estructura interna y la disposición de las diferentes partes de la misma.

Los primeros cortes deben ser generales y mostrar una perspectiva completa de la parte interna de las estructuras reproductoras sin llegar a mayor detalle, por ejemplo, en una flor se retira la mitad de los pétalos y los sépalos para poder observar la disposición del ovario y las anteras o un corte longitudinal de un estróbilo que permita observar la disposición interna del órgano. Si se requiere, se puede emplear el microscopio estéreo o compuesto para apreciar otro tipo de detalles o estructuras pequeñas. Las ilustraciones del Anexo 2 pueden ser de mucha utilidad la identificación de estructuras.

Posteriormente, se deben realizar nuevos cortes para observar la mayor cantidad posible de detalles, por ejemplo, cortando el ovario para ver los lóculos y los óvulos, también se pueden realizar observaciones a detalle de las anteras para observar los granos de polen. Mediante el microscopio se pueden observar las esporas de los diferentes grupos vegetales que las presentan.

Finalmente, se debe realizar un cuadro comparativo donde se destaquen las diferencias estructurales y funcionales de los diferentes órganos reproductores observados, procurando justificar tales diferencias.

Práctica # 9: Taxonomía

INTRODUCCIÓN

La gran diversidad que comprenden los vegetales, abarca formas y adaptaciones ecológicas muy diversas. Es importante para el estudio botánico poder diferenciar y agrupar toda esta diversidad vegetal, para ello, existen las categorías taxonómicas que permiten una metódica agrupación de los organismos vegetales.

A simple vista es posible reconocer los principales niveles taxonómicos, como las algas, hongos, helechos, musgos, gimnospermas o angiospermas. No obstante, la identificación de las categorías taxonómicas menores se hace por demás dificultosa a simple vista, para ello se debe recurrir a pliegos de herbario, bibliografía o claves dicotómicas que permitan una correcta clasificación.

OBJETIVOS

Objetivo general
Reconocer los principales niveles taxonómicos en un conjunto variado de muestras.

Objetivos específicos
- Familiarizarse con los caracteres diagnósticos y distintivos entre los diferentes grupos vegetales
- Adquirir conocimientos respecto a los caracteres diferenciales y comunes entre algunos niveles de organización.
- Aprender la manera correcta de realizar una clasificación científica

MATERIALES

- Microscopio y microscopio estéreo
- Lámparas
- Material fresco, desecado, pliegos de herbario y placas fijadas de los diferentes grupos vegetales
- Claves taxonómicas

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El desarrollo de la práctica consiste en observar y comparar diversas muestras de los diferentes grupos vegetales, reconociendo las categorías taxonómicas a las que pertenecen mediante la comparación de caracteres propios diferenciales. Para ello, debe partirse de lo más general y continuar hacia lo más específico hasta donde permita llegar el material y los medios disponibles.

Se deben realizar esquemas de las muestras observadas tomando en cuenta el tamaño, forma, diferenciación celular y tejidos. Posteriormente se deben agruparlas en los siete grupos vegetales principales, vale decir si se trata de un alga, hongo, liquen, musgo, helecho, gimnosperma o angiosperma.

Una clasificación más detallada puede obtenerse con la ayuda de claves taxonómicas, las cuales se pueden obtener en libros especializados en el tema. Es recomendable que el estudiante realice la clasificación de una muestra por lo menos hasta género, para familiarizarse con los procesos de identificación y clasificación.

Tabla 9–1: Terminaciones y nombres en latín y español de las categorías taxonómicas. Se incluye un ejemplo para el alga cianófita *Spirulina minor*, en los campos donde se aplique.

Categoría	*Nombre en latín*	*Terminación*	*Ejemplo*
División	Phylum	–phyta	Cyanophyta
Subdivisión	Subphylum	–phytina	
Clase	Classis	–phyceae	Hormoniophyceae
Subclase	Subclassis	–phycidae	
Orden	Ordo	–ales	Nostocales
Suborden	Subordo	–ineae	
Familia	Familia	–aceae	Oscillatoriaceae
Subfamilia	Subfamilia	–oideae	
Tribu	Tribus	–eae	
Género	Genus	Derivado de latín o griego	*Spirulina*
Especie	Species	Derivado de latín	*Spirulina minor*
Variedad	Varietas	Derivado de latín	
Forma	Forma	Derivado de latín	

Tabla 9–2: Divisiones vegetales según su hábitat.

Hábitat	*Divisiones*
Acuático	Cyanophyta, Euglenophyta Pirrhophyta, Chrisophyta, Charophyta, Phaeophyta, Rhodophyta, Chlorophyta
Terrestre	Bryophyta, Psilophyta, Lycophyta, Sphenophyta, Pteridophyta, Cycadophyta, Ginkophyta, Coniferophyta, Gnetophyta, Antophyta, Fungi

Una vez que se han agrupado los organismos, se debe proceder a complementar los esquemas y las observaciones con bibliografía, para destacar las características de cada grupo y fundamentar la agrupación realizada. Posteriormente se debe elaborar una tabla comparativa de los siete grupos, tomando en cuenta organización, forma, tamaño, hábitat y reproducción.

A continuación, se presentan dos tablas, que pueden resultar de mucha utilidad para la clasificación de las muestras. La tabla 9–1 resume las diferentes terminaciones y nombres en latín y español de las categorías taxonómicas. La tabla 9–2 agrupa a las diferentes divisiones según el hábitat.

Para complementar esta práctica y realizar buenas discusiones, se recomienda revisar el *Capítulo 5*.

Se pueden encontrar claves taxonómicas detalladas en los siguientes textos:

- 🕮 Gentry, A.H. 1993. *A field guide to the families and genera of woody plants of North west South America.* Conservation International, Washington.
- 🕮 Killen, T., E. García & S. Beck. 1991. *Guía de árboles de Bolivia.* Herbario Nacional de Bolivia–Missouri Botanical Garden, La Paz.

Práctica # 10: Formas de vida y pisos ecológicos
(salida de campo)

INTRODUCCIÓN

La distribución de las plantas en la naturaleza responde a las adaptaciones de cada organismo y a las exigencias ecológicas de cada región y accidente geográfico, puesto que las condiciones varían de manera determinante en cada una de éstas. La distribución geográfica de las plantas se ve afectada por diversos factores, como ser: calidad y tipo de suelo, humedad, temperatura, precipitación pluvial, altitud y las diferentes especies vegetales y animales que coexisten en el mismo ecosistema.

Es posible percibir estas diferentes distribuciones conforme se va cambiando de región, puesto que nunca se encontrará la misma vegetación en una montaña –por ejemplo– que en un valle, porque las condiciones tampoco son las mismas. Los organismos vegetales se adaptan a los diferentes medios con diferentes grados de dificultad y las consiguientes variaciones en tamaño, número, variedad y frecuencia.

Es fácil apreciar este fenómeno observando y comparando las diferentes estructuras de vegetación cuando las condiciones varían en pequeños espacios geográficos, como ser una montaña donde –debido a la pendiente– existe una gradiente altitudinal que origina una variación importante de las condiciones ecológicas y por lo tanto también varía la distribución de los organismos vegetales. Cada lugar con condiciones marcadamente diferentes y con una distribución de seres vivos particular es un **piso ecológico**.

OBJETIVOS

Objetivo general
Apreciar la variación de la distribución vegetal de acuerdo a los diferentes pisos ecológicos

Objetivos específicos
- Discriminar la presencia y diversidad de formas vegetales representativas en cada piso ecológico
- Aprender y practicar el uso adecuado de términos para describir las formas de vida y los tipos de vegetación.

MATERIALES

- Cuaderno de campo
- Altímetro
- Flexómetro
- Equipo de campo
- Equipo para acampar
- Equipo de primeros auxilios
- Lupa, binoculares
- Cámara fotográfica y otros

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Se debe buscar un lugar que presente una gran variedad de pisos ecológicos dentro de un reducido espacio geográfico, para que sea posible cambiar de condiciones y apreciar diferentes pisos ecológicos sin necesidad de viajar por mucho tiempo o largas distancias.

La práctica consiste en observar las condiciones de los diferentes pisos ecológicos y realizar una comparación de la diversidad botánica entre ello, para esto se debe registrar la diversidad botánica de cada piso, con la ayuda de los sistemas Küchler (1949), Whittaker (1975) y Shreve (1951), que se detallan a continuación:

Sistema Küchler

Plantas leñosas
Siempreverdes de hoja ancha
Deciduas de hoja ancha
Siempreverdes aciculares
Áfilas

Herbáceas
Graminoideas
Latifoliadas
Brioides (líquenes y musgos)

Formas de vida especiales
Epífitas
Trepadoras (leñosas)
Tallos suculentos
Palmas
Bambúes

Categorías foliares
Suculentas
Esclerófilas
Blandas
Grandes (>400 cm^2)
Pequeñas (< 4 cm^2)

Clases de altura
> 35 m
20–35 m
10–20 m
5–10 m
2–5 m
0,5–2 m
0,1–0,5 m
< 0,1 m

Sistema Whittaker

Árboles (leñosas de más de 3 m de altura)
Aciculares
Siempreverdes de hoja ancha
Deciduos de hoja ancha
Siempreverdes esclerófilos
Armados (con espinas)

En penacho (palmas y helechos arborescentes)

Lianas
Trepadoras y leñosas

Arbustos (leñosas a menos de 3 m de altura)
Aciculares
Siempreverdes de hoja ancha
Deciduos de hoja ancha
Siempreverdes esclerófilos
En roseta
De tallos suculentos
Con espinas
Semiarbustos (sufrúctices con ramas y tallos superiores que mueren en épocas desfavorables)
Subarbustos (arbustos enanos, crecen extendidos cerca del suelo a menos de 25 cm de altura)

Epífitas
Epífitas

Hierbas
Helechos
Graminoideas
Latifoliadas

Talófitos
Líquenes
Musgos
Hepáticas

Sistema Shreve

Árboles
Deciduos de hoja ancha
Siempreverdes de hoja ancha
Leguminosos pinados
Siempreverdes aciculares
Suculentos

Arbustos
Deciduos de hoja ancha
Siempreverdes de hoja ancha
Leguminosos pinados
Dicotiledóneos de hoja angosta
Tallos suculentos
Espinosos deciduos
Espinosos siempreverdes
Monocotiledóneos en roseta
Sufrútices
Tallos verdes deciduos o áfilos
Lianas leñosas o arbustos trepadores
Parásitos

Herbáceas
Helechos deciduos

Helechos siempreverdes
Graminoideas perennes
Graminoideas anuales de invierno
Graminoideas anuales de verano
Latifoliadas perennes deciduas
Latifoliadas perennes siempreverdes
Latifoliadas anuales de invierno
Latifoliadas anuales de verano

Con estos sistemas, se determina la diversidad de cada lugar, por ejemplo:

Sistema Whittaker

Árboles (leñosas de más de 3 m de altura)
Aciculares → ausentes
Siempreverdes de hoja ancha → presentes
Deciduos de hoja ancha → ausentes
Siempreverdes esclerófilos → muy pocos
Armados (con espinas) → presentes
En penacho (palmas y helechos arborescentes) → ausentes

Con la información recolectada, elaborar cuadros de diversidad y abundancia sencillos, y discutir acerca de ellos en el informe.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

📖 Küchler, A. 1949. *A physiogramic classification of vegetation*. Ann. Assoc. Am. Geogr. 39: 201–210.
📖 Shreve, F. 1951. *Vegetation of the Sonoran desert.* Carnegie Institution of Washington 591: 1–192.
📖 Wittaker, R. H. 1975. *Communities and ecosystems*. Macmillan, Nueva York. 2º edición 385 pp.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES

- Azcón–Bieto, J. & M. Talón. 1993. *Fisiología y bioquímica vegetal.* Editorial Interamericana • McGraw–Hill, Madrid.
- Campbell N., L. Mitchell & J. Reece. 1994. *Biology: Concepts & Connections*. Editorial Benjamin Cummings, EUA.
- Cerdà, J. 1981. *El microscopio. Guía teórico–práctica*. Laboratorio de Biología San Calixto, La Paz.
- Cronquist, A. 1997. *Introducción a la botánica.* 12º reimpresión, Editorial CECSA, México DF.
- Cuerda, J.. 1993. *Atlas de Botánica*. Editorial Cultural, Barcelona.
- Curtis, H. & S. Barnes. 1993. *Biología.* 5º edición. Editorial Médica Panamericana, Cali.
- Fernández G. & M. Johnston. 1986. *Fisiología vegetal experimental*. Editorial IICA, San José.
- Forno, E. & M. Baudoin. 1991. *Historia natural de un valle en los Andes: La Paz.* Instituto de Ecología–UMSA. La Paz.
- Gaffron, H. 1974. *Fotosíntesis.* Consejo Nacional para la Enseñanza de la Biología, México DF.
- García, E. & N. Salinas. 1997. *Manual ilustrado de las especies vegetales frecuentes en la zona de Choquetanga.* Editorial Instituto de Ecología–UMSA, La Paz.
- Killen, T., E. García & S. BECK. 1991. *Guía de árboles de Bolivia.* Herbario Nacional de Bolivia–Missouri Botanical Garden, La Paz.
- Kimball, J. 1984. *Biología*. 4º edición, Editorial Addison–Wesley Iberoamericana, México DF.
- Marzocca, A. 1985. *Nociones básicas de Taxonomía Vegetal.* Editorial ICAA, San José.
- Morales, C. 1988. *Manual de Ecología*. Editorial Instituto de Ecología –UMSA, La Paz.
- Raven, P., R. Evert & S. Eichhorn. 1991. *Biología de las Plantas Tomo I*. Editorial Reverté, Barcelona.
- Raven, P., R. Evert & S. Eichhorn. 1992. *Biología de las Plantas Tomo II*. Editorial Reverté, Barcelona.
- Villee, C., E. Solomon, C. Martin, D. Martin, L. Berg & W. Davis. 1992. *Biología*. 2º edición, Editorial Interamericana • McGraw–Hill, México DF

Para información actualizada, nuevos enlaces, material didáctico adicional y nuevas prácticas de laboratorio, visitar:

http://www.mbotanica.8m.com



Compuesta característica de Bahía Cohana, Lago Titikaka
Fotografía: F.E. Fontúrbel 2006

Eras Geológicas

ERA	PERIODO	ÉPOCA	FORMAS DE VIDA	CAMBIOS CLIMÁTICOS Y FÍSICOS MAS IMPORTANTES
CENOZOICO (65[*])	Cuaternario (2)	Reciente (0,01) Pleistoceno (2)	Edad de los seres humanos. Extinción de muchos de los grandes mamíferos y pájaros.	Clima fluctuante de frío a templado. Más de veinticuatro avances y retrocesos glaciares; periodo final de la formación de muchas cordilleras montañosas.
	Terciario (65)	Plioceno (5,1)	Aridez. Formación de desiertos; el clima se diversifica. Aparición de los primeros homínidos	Período de más frío. Formación de muchas cadenas montañosas. Glaciares muy extensa en el hemisferio Norte. Unión de América del Norte y Sudamérica por el surgimiento de Panamá.
		Mioceno (24,6)	Extensión de praderas y retracción de bosques. Animales herbívoros, monos.	Moderado. Se inicia de nuevo una gran glaciación en el hemisferio Sur.
		Oligoceno (38)	Mamíferos, herbívoros, primates semejantes a monos; aparición de primeras plantas actuales.	Formación de los Alpes y del Himalaya. El continente sudamericano se separa de la Antártida. Formaciones de volcanes en las montañas rocosas.
		Eoceno (54,9)	Amplia extensión de mamíferos y aves; formación inicial de praderas.	Templado a tropical. Australia se separa de la Antártida. India colisiona con el continente Asiático.
		Pleoceno (65)	Primeros mamíferos insectívoros y primates.	Templado a frío. Desaparición de extensos mares continentales poco profundos.
MESOZOICO (248)	Cretácico (144)		Aparición de las angiospermas y muchos grupos de insectos, llegando a ser dominantes. Edad de los reptiles. Extinción de los Dinosaurios al final del período.	Clima tropical a subtropical generalizado. Se separaron los continentes africano y sudamericano.
	Jurásico (213)		Gimnospermas, especialmente cicas. Aparecen las aves.	Templado. Continentes poco elevados, con grandes áreas cubiertas de mares.
	Triásico (248)		Grandes bosques de gimnospermas y helechos. Primeros dinosaurios y primeros mamíferos.	Continentes montañosos, unidos en un gran continente. Grandes extensiones áridas.
PALEOZOICO (590)	Pérmico (286)		Origen de las confieras, cicas y ginkgos; decaimiento de los primeros tipos de bosque. Los reptiles se diversifican.	Extensa glaciación en el hemisferio Sur. Aparición de los montes Apalaches. Aridez generalizada.
	Carbonífero (360)		Aparición de los anfibios en ambientes terrestres; los bosque aparecen y se hacen dominantes. Origen de insectos y reptiles. Edad de los anfibios.	Cálido, con pocas variaciones estacionales; tierras bajas, pantanosas, con formación de depósitos carboníferos.
	Devónico (408)		Edad de los peces. Desarrollo de las plantas terrestres; extinción de las primeras plantas vasculares.	Tierras cubiertas en su mayor parte por los océanos. Montañas en regiones locales.
	Silúrico (438)		Este período se inicia con el proceso de extinción generalizada. Primeros fósiles de plantas. Primeros hongos.	Templado. Continentes por lo general llanos.
	Ordovícico (505)		Este período se inicia con la extinción generalizada. Crustáceos fósiles más antiguos. Diversificación de los moluscos. Posible invasión del ambiente terrestre por las plantas. Primeros hongos.	Templado. Mares poco profundos, continentes llanos. Los mares cubrían la mayor parte de los actuales Estados Unidos.
	Cámbrico (590)		Evolución de los esqueletos externos en animales. Evolución explosiva de grandes grupos o divisiones. Evolución de los cordados.	Templado. Grandes mares cubriendo los actuales continentes.
PRECÁMBRICO (4500)			Origen de la vida (al menos 3,500 millones de años). Origen de los eucariotas, al menos 1,500 millones de años. Aparición de animales pluricelulares, unos 700 millones de años.	Formación de la corteza terrestre y comienzo de los movimientos continentales.

[*] Tiempo indicado en millones de años



Cactácea en flor, Valle de La Luna
Fotografía: F.E. Fontúrbel 2006

Organografía y criterios morfológicos

(Adaptado y redibujado de Marzocca 1985)

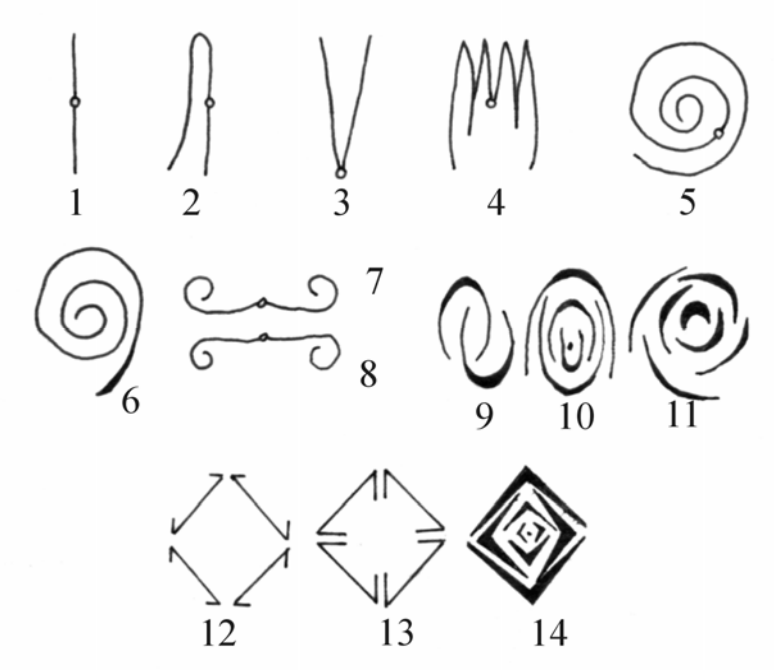


Fig. A–1: Tipos de prefoliación: (1) plana, (2) reclinada, (3) duplicada, (4) plegada, (5) convolutada, (6) circinada, (7) involuta, (8) revoluta. Disposición relativa de las hojas entre sí en la yema: (9) semiequidistante, (10) equidistante, (11) imbricada, (12) revolutada, (13) involutada, (14) valvada.

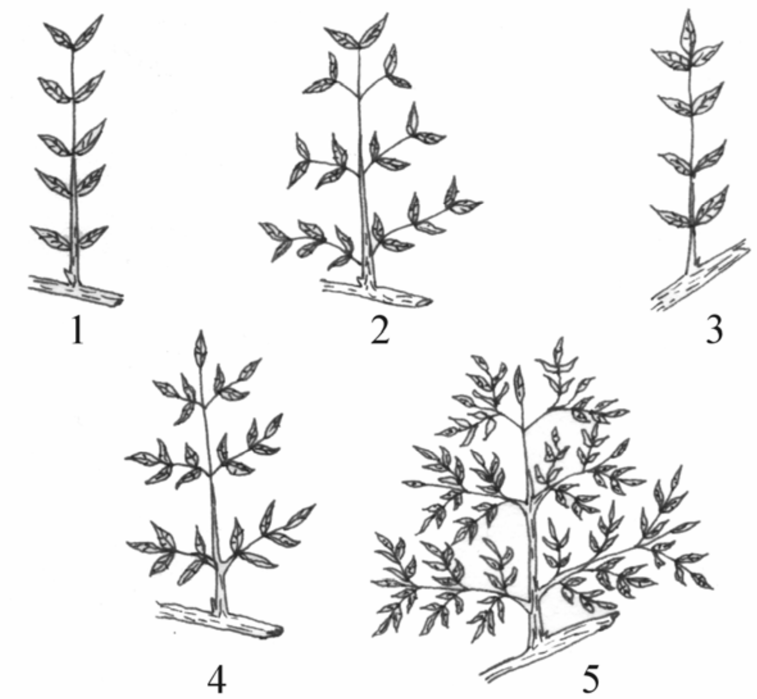


Fig. A–2: Tipo de hojas: (1) paripinada, (2) paripinada bicompuesta, (3) imparipinada, (4) imparipinada bicompuesta, (5) imparipinada tricompuesta.

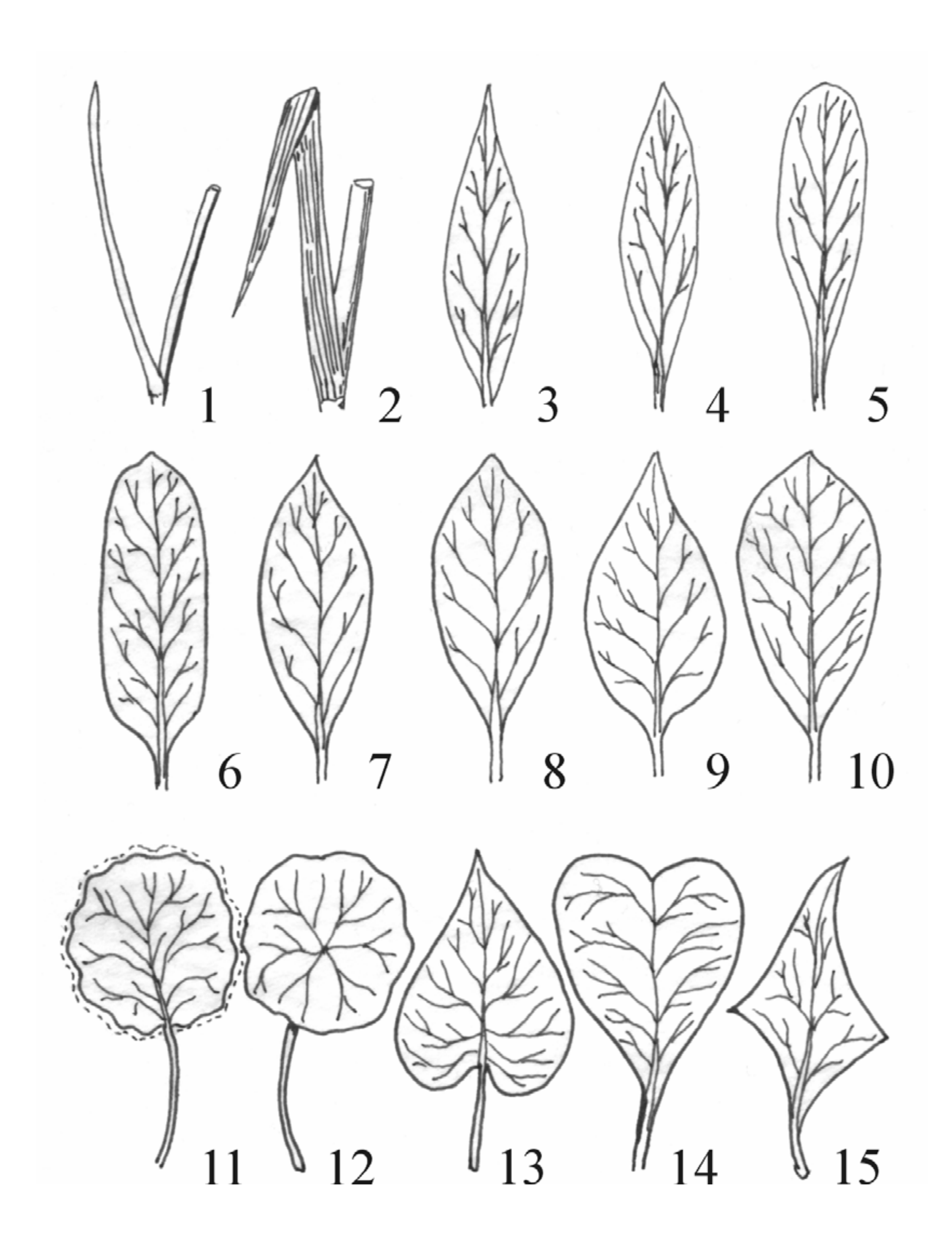
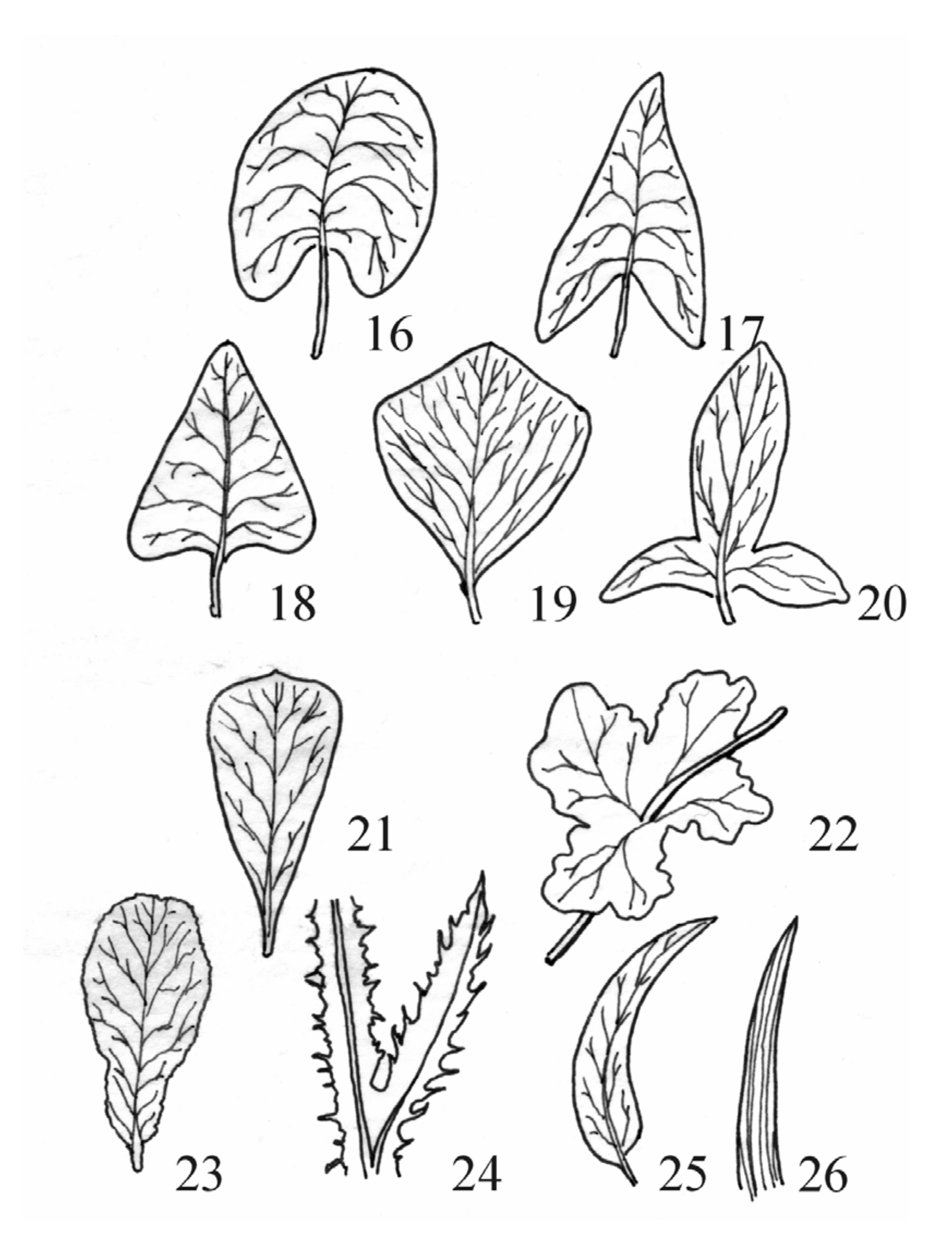


Fig. A–3: Forma de las hojas: (1) Acicular, (2) lineal, (3) lanceolada, (4) oblanceolada, (5) espatulada, (6) oblonga, (7) elíptica, (8) oval, (9) ovada, (10) obovada, (11) orbilcular (12) peltada, (13) cordada, (14) obcordada, (15) romboidal, (16) reniforme, (17) sagitada, (18) deltoide, (19) obdeltoide, (20) hastada, (21) cuneiforme, (22) perfoliada, (23) pandurada, (24) decurrente, (25) falcada, (26) ensiforme.



(Continuación Figura A–3)

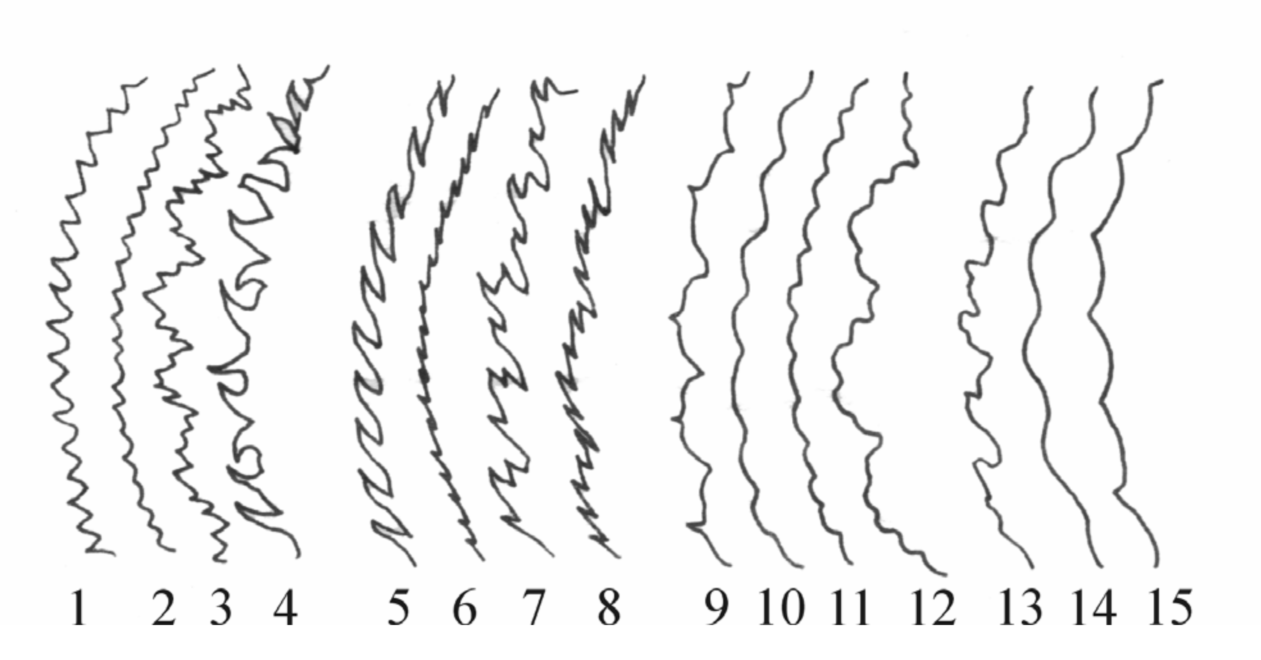


Fig. A–4: Bordes de hojas: (1) Dentado, (2) Denticulado, (3, 4) Doble dentado, (5) Aserrado, (6) Serrulado, (7, 8) Doble aserrado, (9) Crenado, (10) Crenulado, (11, 12) Doble crenado, (13) Sinuado, (14) Ondulado, (15) Sinuado repando.

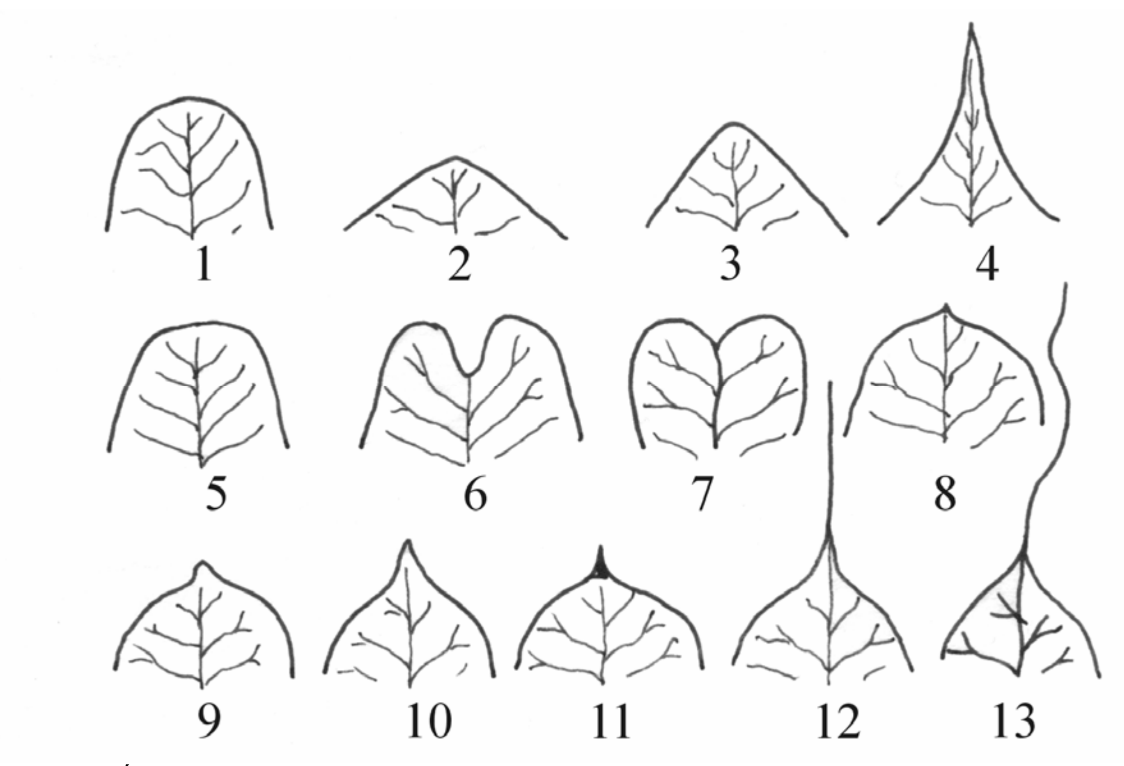


Fig. A–5: Ápices de hoja: (1) Redondeado, (2) Obtuso, (3) Agudo, (4) Atenuado, (5) Truncado, (6) Emarginado, (7) Retuso, (8) Cuspidado, (9) Mucronado, (10) Acuminado, (11) Espinoso, (12) Aristado, (13) Caudado.

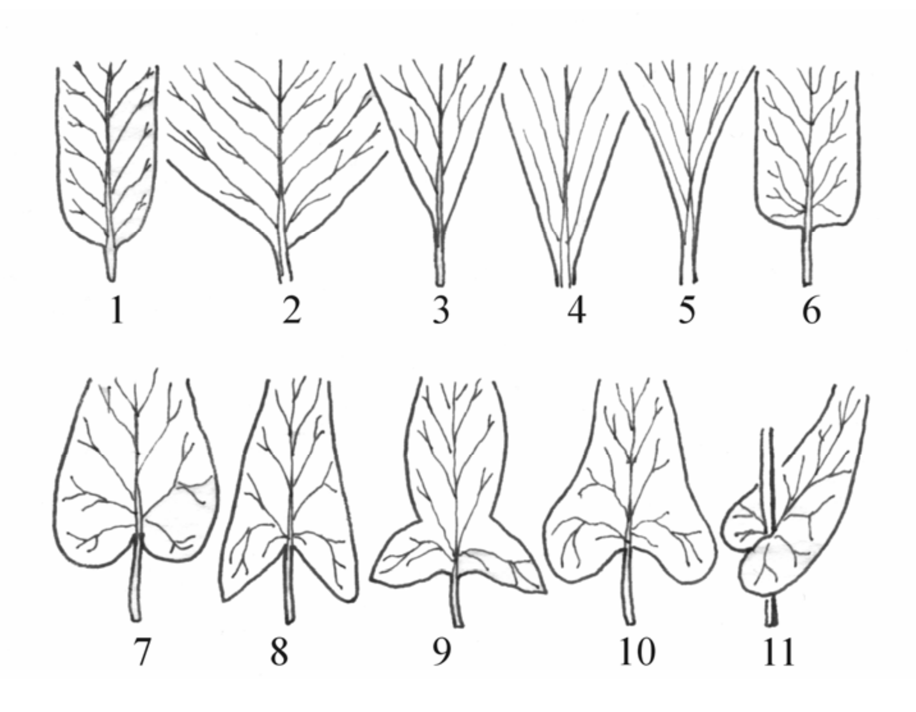


Fig. A–6: Base de las hojas: (1) Redondeada, (2) Obtusa, (3) Aguda, (4) Cuneada, (5) Atenuada, (6) Truncada, (7) Cordada, (8) Sagitada, (9) Hastada, (10) Auriculada, (11) Abrazadora.

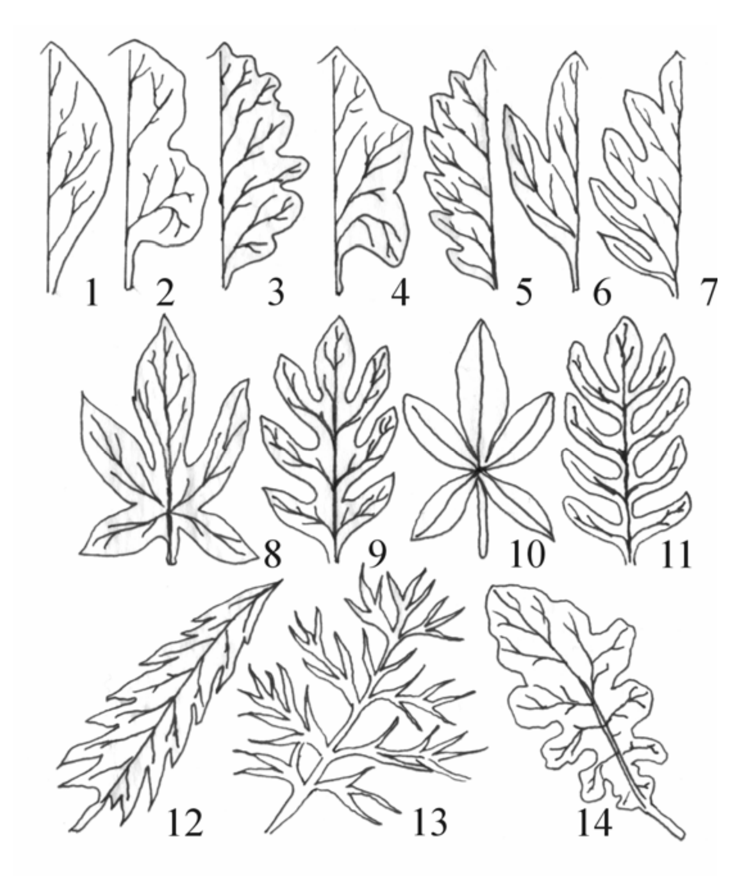


Fig. A–7: Márgenes de las hojas: (1) Entero, (2) Palmatilobulado, (3) Pinatilobulado, (4) Palmatihendido, (5) Pinatihendido, (6) Palmatífido, (7) Pinatífido, (8) Palmatipartido, (9) Pinatipartido, (10) Palmatisecto, (11) Pinatisecto, (12) Runcinado, (13) Laciniado, (14) Lirado.

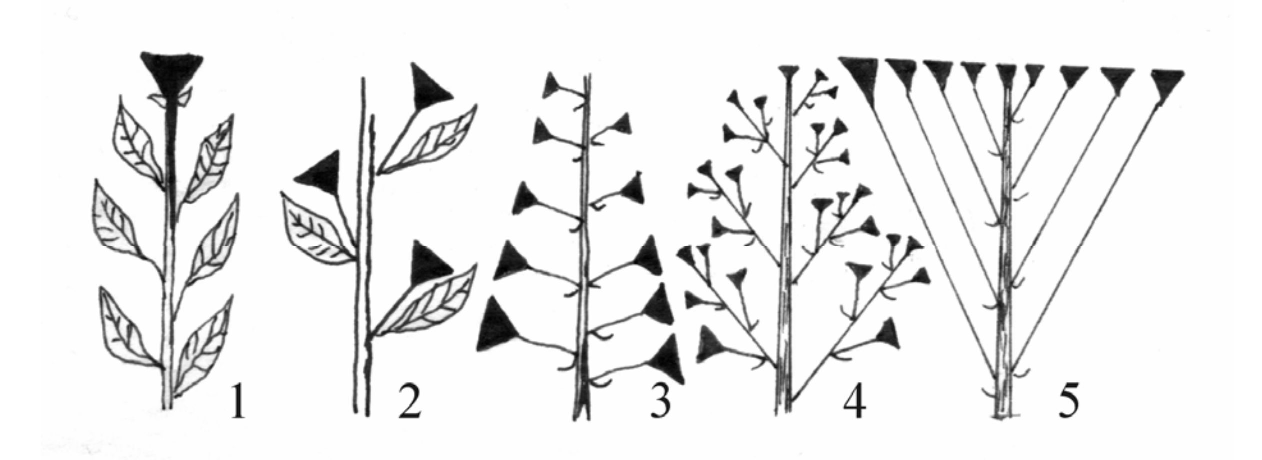


Fig. A–8: Tipos de flor: (1) Flor terminal, (2) Inflorescencia, (3) Racimo, (4) Panoja, (5) Corimbo.

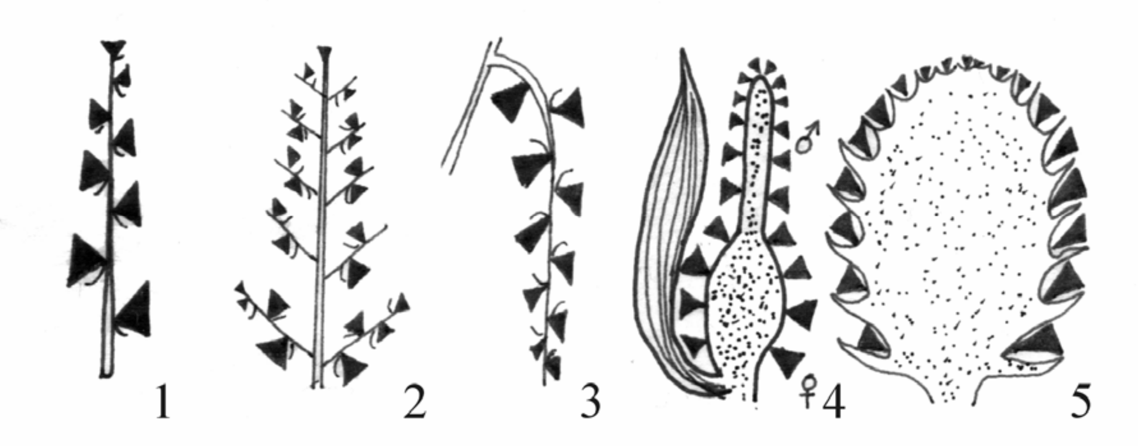


Fig. A–9: Tipos de inflorescencia racimosa: (1) Espiga, (2) Espiga compuesta, (3) Amento, (4) Espádice, (5) Estróbilo.

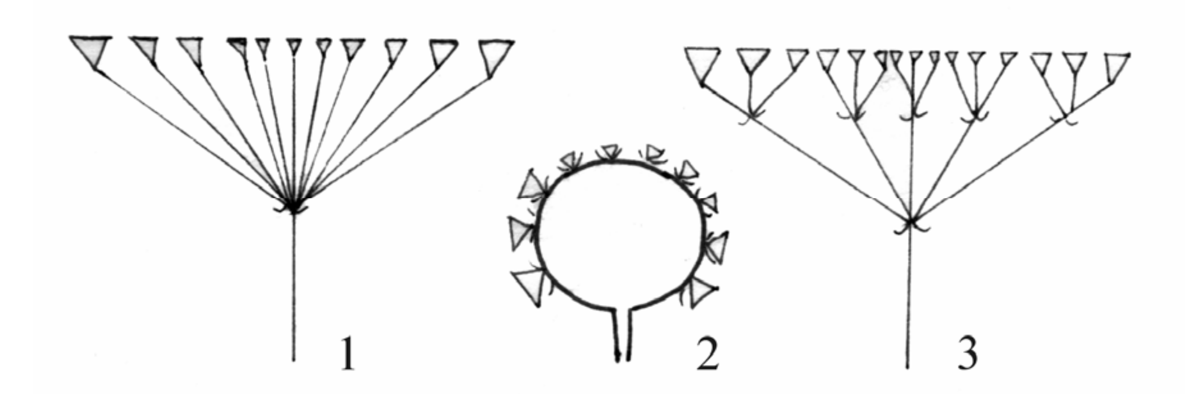


Fig. A–10: Tipos de inflorescencia umbeloide: (1) Umbela simple, (2) Umbela compuesta, (3) Capítulo.

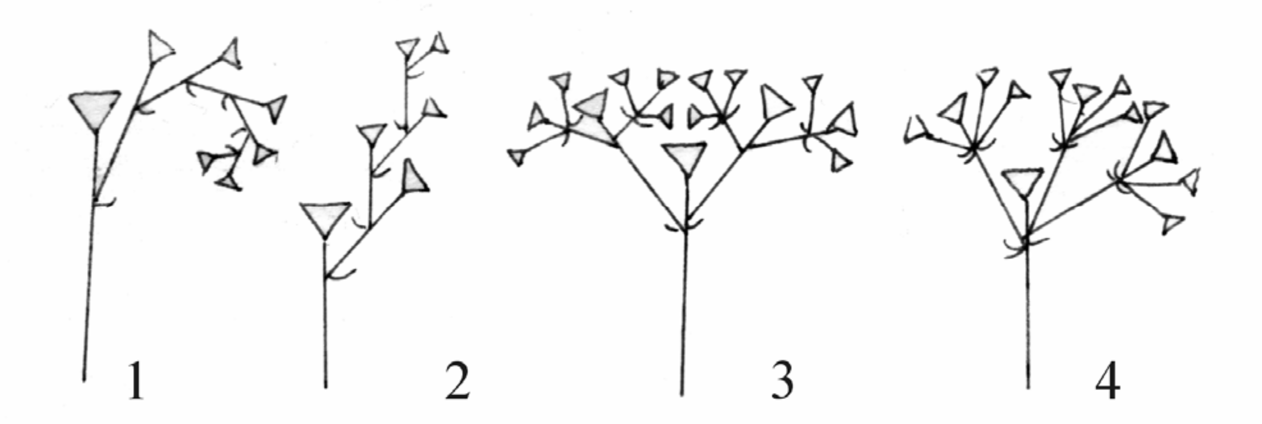


Fig. A–11: Tipos de inflorescencia cimosa: (1) Monocasio escorpoide, (2) Monocasio helicoide, (3) Dicotómica, (4) Pleocasio.

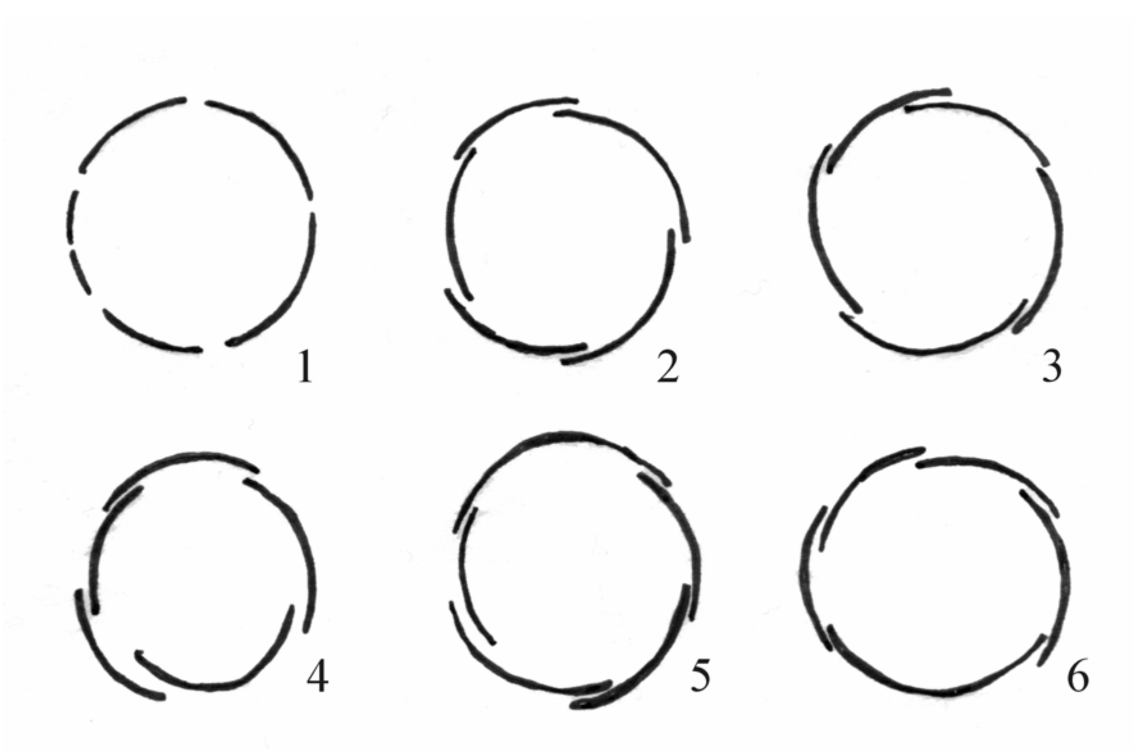


Fig. A–12: Tipos de prefloración: (1) Valvada, (2) Imbricada, (3) Contorta, (4) Quincuncial, (5) Vexilar, (6) Carinal.

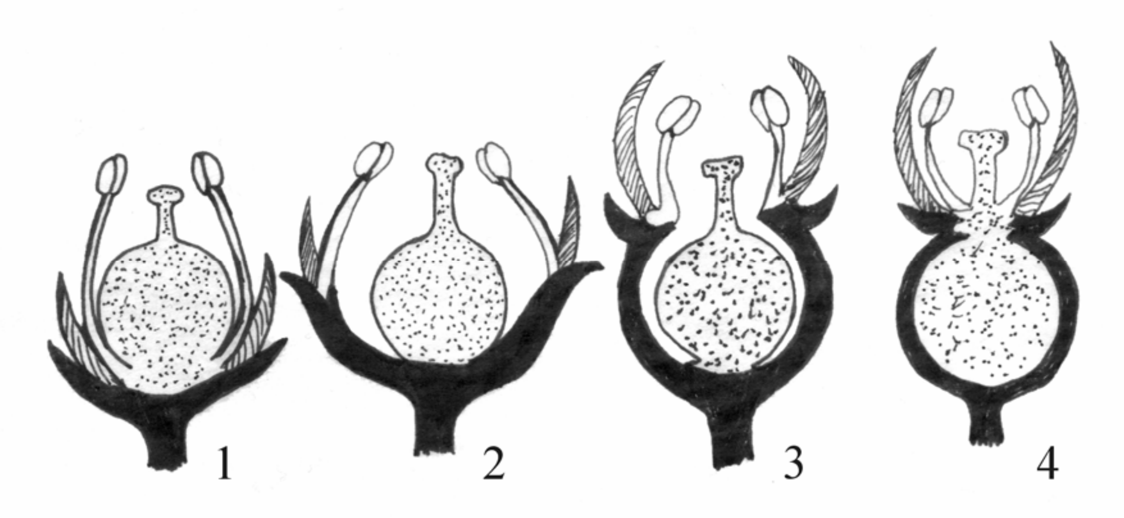


Fig. A–13: Tipos de inserción corola–cáliz: (1) Hipogina, (2) Perigina, (3, 4) Epigina.

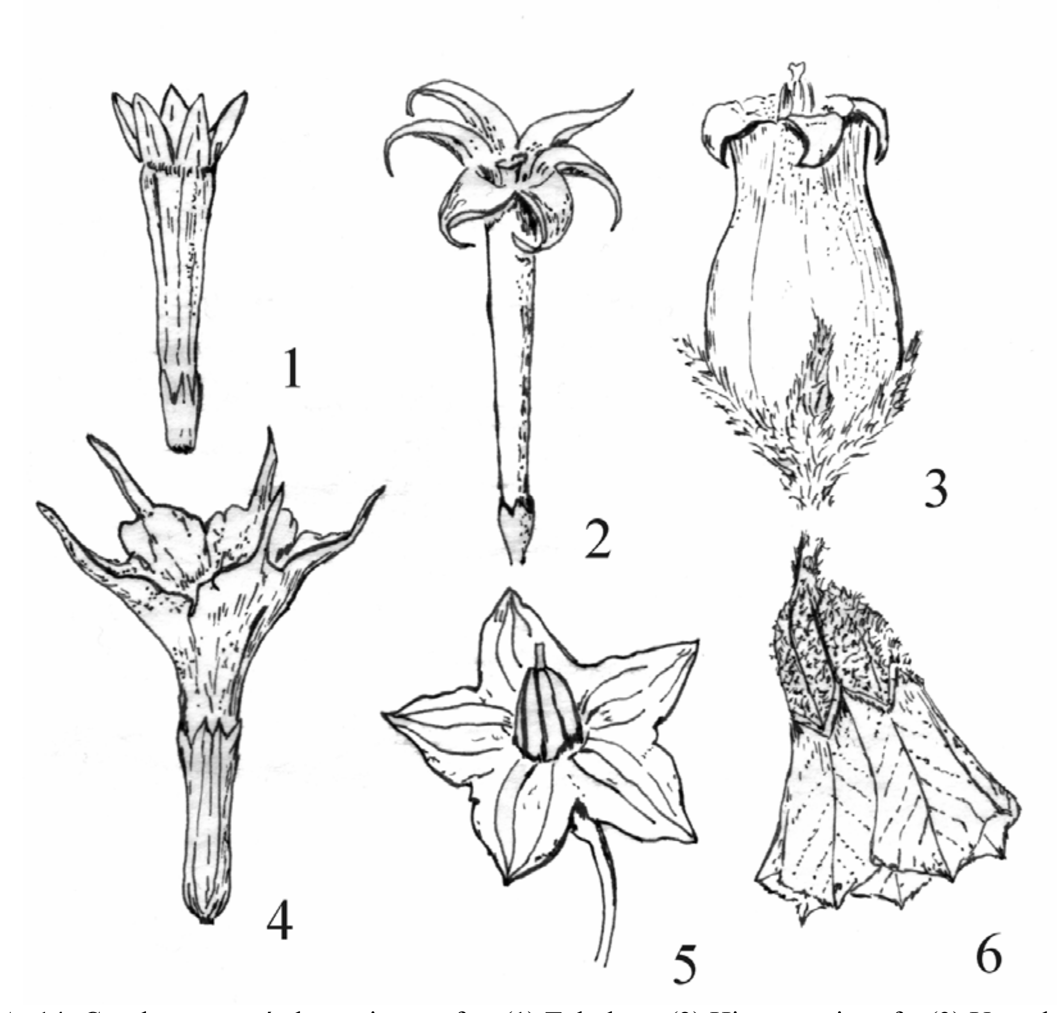


Fig. A–14: Corolas gamopétalas actinomorfas: (1) Tubulosa, (2) Hipocraterimorfa, (3) Urceolada, (4) Infundibuliforme, (5) Campanulada, (6) Rotiforme.

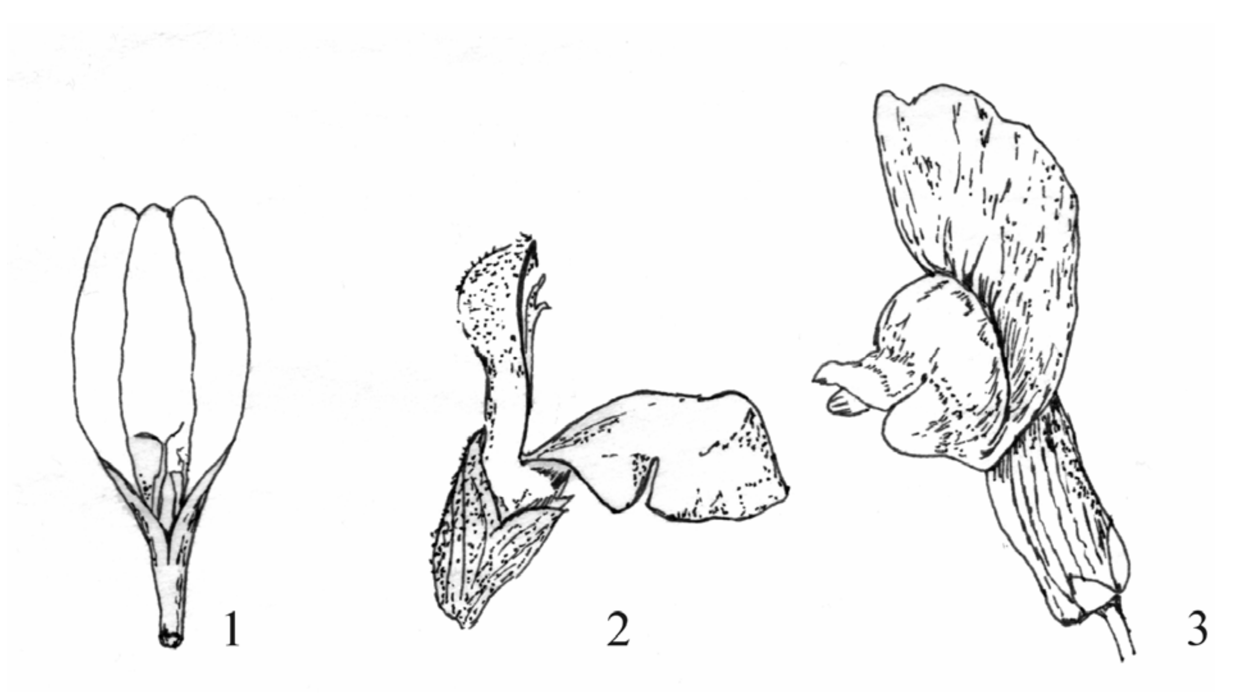


Fig. A–15: Corolas gamopétalas cigomorfas: (1) Labiada, (2) Personada, (3) Ligulada.

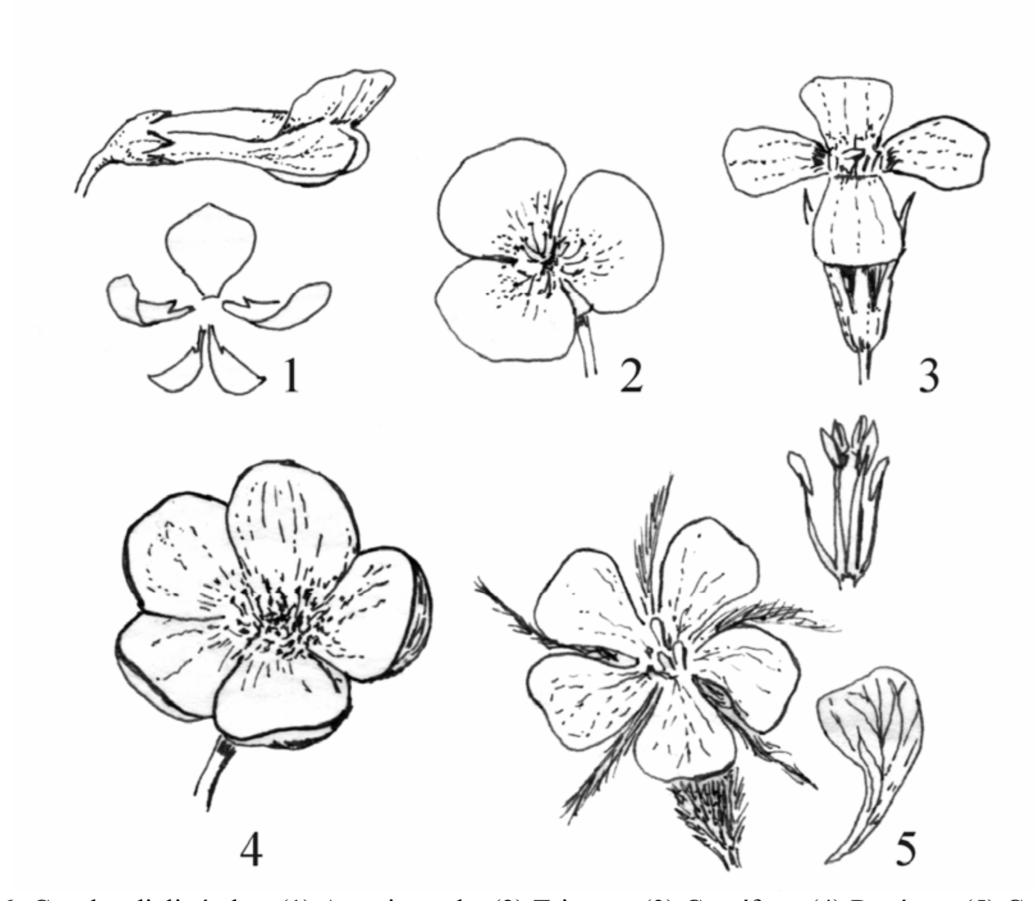


Fig. A–16: Corolas dialipétalas: (1) Amariposada, (2) Trimera, (3) Crucífera, (4) Rosácea, (5) Cariofilácea.

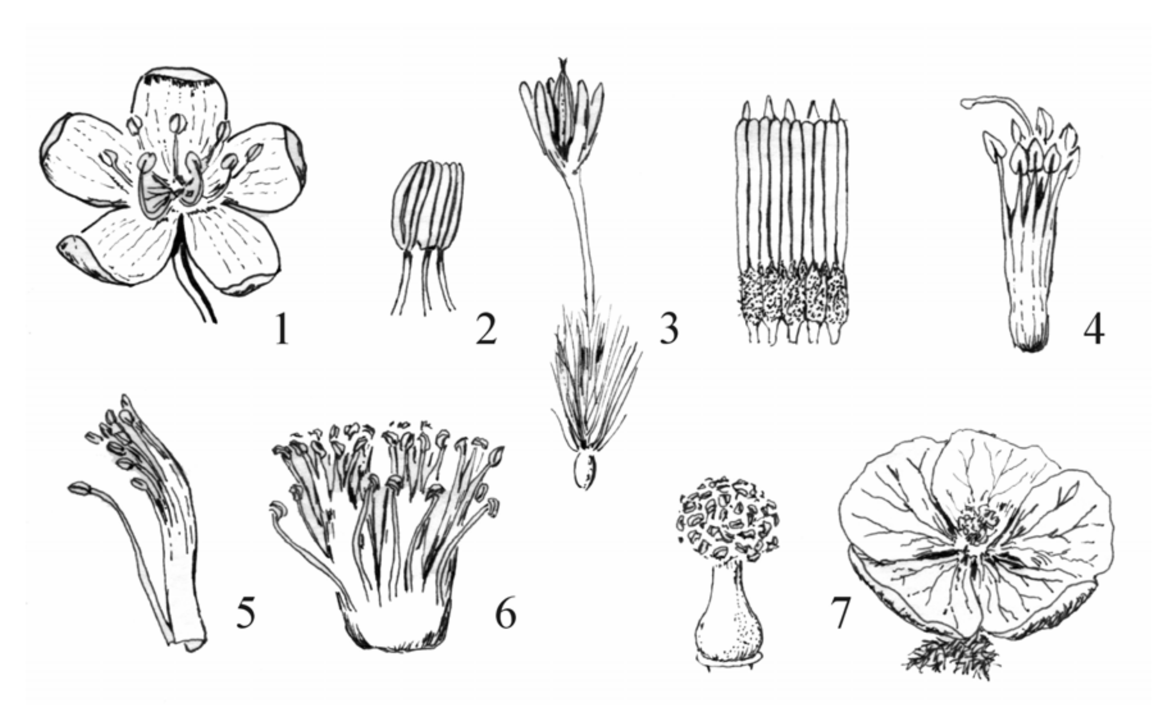


Fig. A–17: Tipos de estambres libres: (1) Anteras coherentes, (2) Estambres singenésicos, (3) Vista del androceo de 2, (4)Androceo monadelfo en tubo cerrado, (5) Androceo diadelfo, (6) Androceo poliadelfo, (7) Androceo monadelfo.

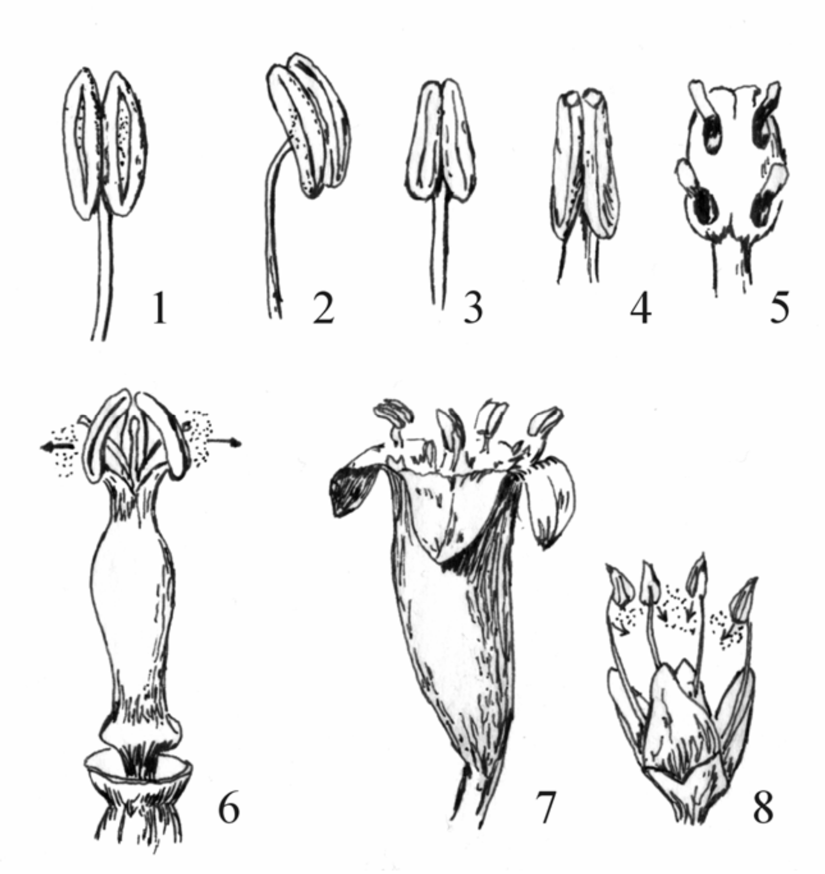


Fig. A–18: Tipos de estambre: (1) Esquema de un estambre tipo, (2) Anteras dorsifijas, (3) Anteras basifijas, (4) Anteras de dehiscencia poricida, (5) Antera valvar, (6) Androceo extrorso, (7 y 8) Androceo introrso.

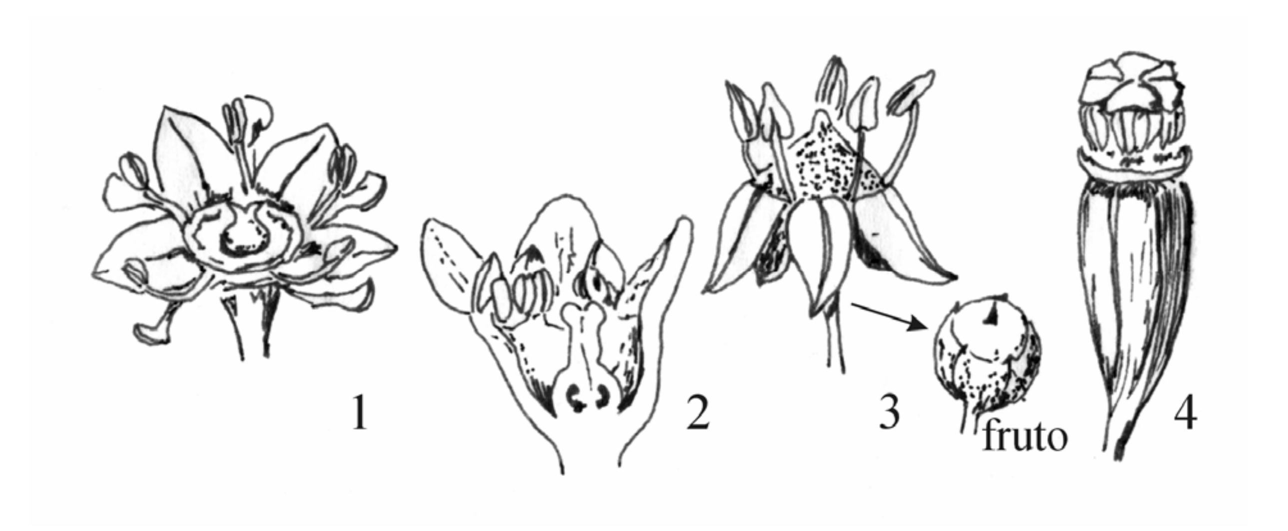


Fig. A–19: Posición del disco y los estambres: (1) Hipogino, (2) Perigino, (3) Epigino, (4) Soldado al pistilo o ginandro.

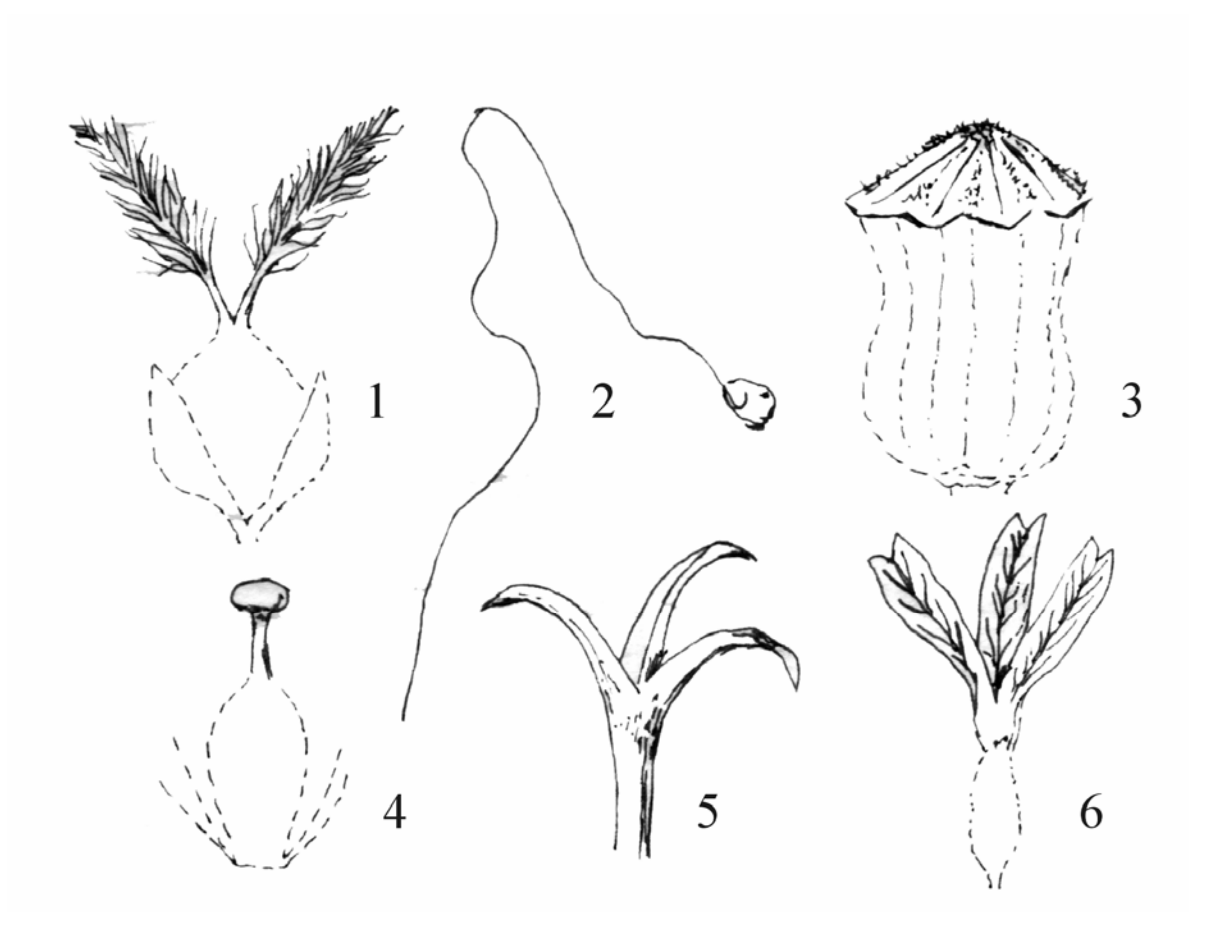


Fig. A–20: Tipos de estigma: (1) Plumoso, (2) Capitado, (3) Filoforme, (4) Ramificado, (5) Sentado, (6) Petaloide.

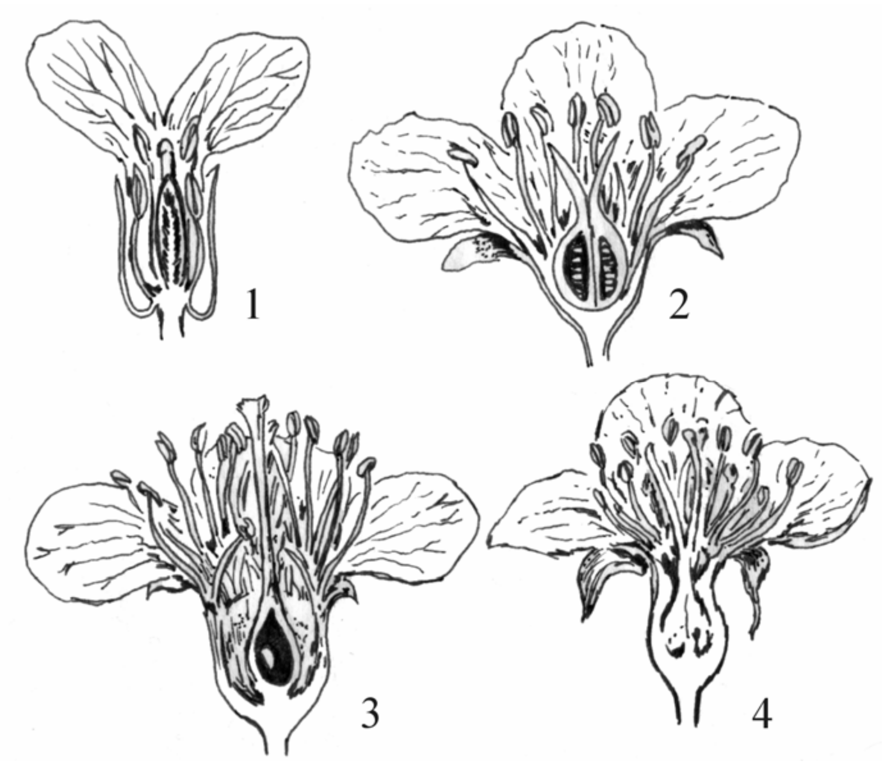


Fig. A–21: Relación ovario y corola: (1) Ovario súpero y corola hipogina, (2) Ovario semi ínfero y corola perigina, (3) Ovario ínfero y corola epigina, (4) Ovario perfectamente ínfero y corola epigina.

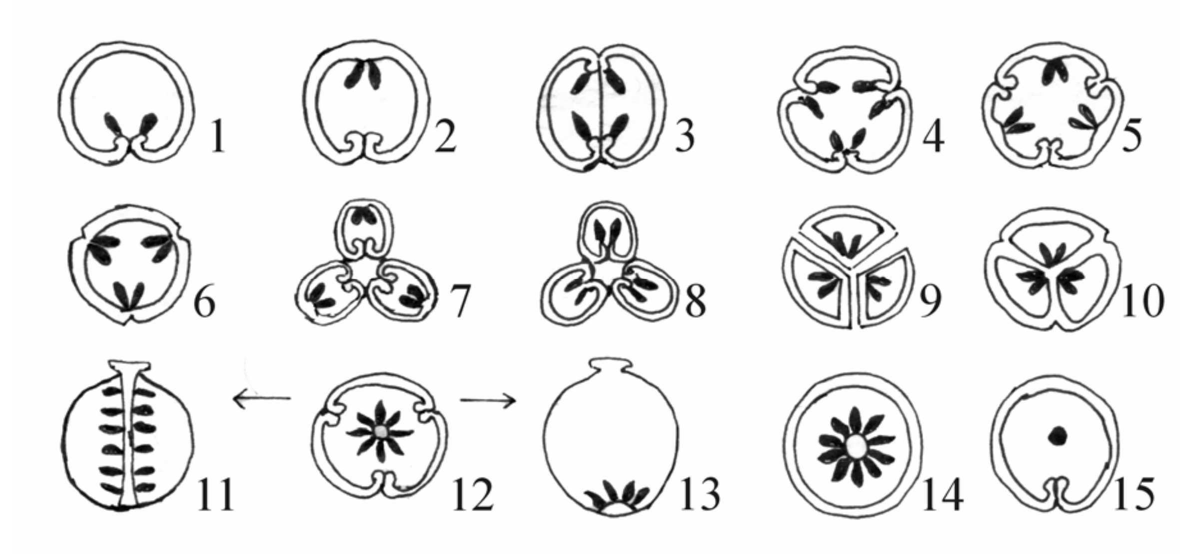


Fig. A–22: Tipos de placentación: (1) Ovario monocarpelar unilocular, placentación parietal marginal, (2) Ovario monocarpelar, placentación parietal laminar, (3) Ovario bicarpelar con falso tabique y placentación parietal, (4, 5) Ovario 3(pluri) carpelar sincárpido 1–locular, placentación parietal marginal, (6) Ovario 3(pluri) carpelar sincárpico 1–locular, placentación parietal laminar, (7) Ovario 3(pluri) carpelar sincárpico, 3(pluri) locular, placentación parietal laminar, (8) Pistilo 3(pluri) carpelar sincárpico, 3(pluri) locular, placentación pariental marginal, (9) Pistilo 3(pluri) carpelar apocárpico, dialicarpelar con ovarios monocarpelares 1–loculares, placentación marginal, (10) Ovario 3(pluri) carpelar sincárpico plurilocular, placentación marginal axilar, (11) Ovario pluricarpelar sincárpico, placentación central, (12) Ovario pluricarpelar sincárpico, placentación central, en corte transversal, (13) Ovario pluricarpelar sincárpico 1–locular, placentación basilar, (14) Ovario pluricarpelar sincárpico, placentación central libre, (15) Ovario monocarpelar, placentación central libre.

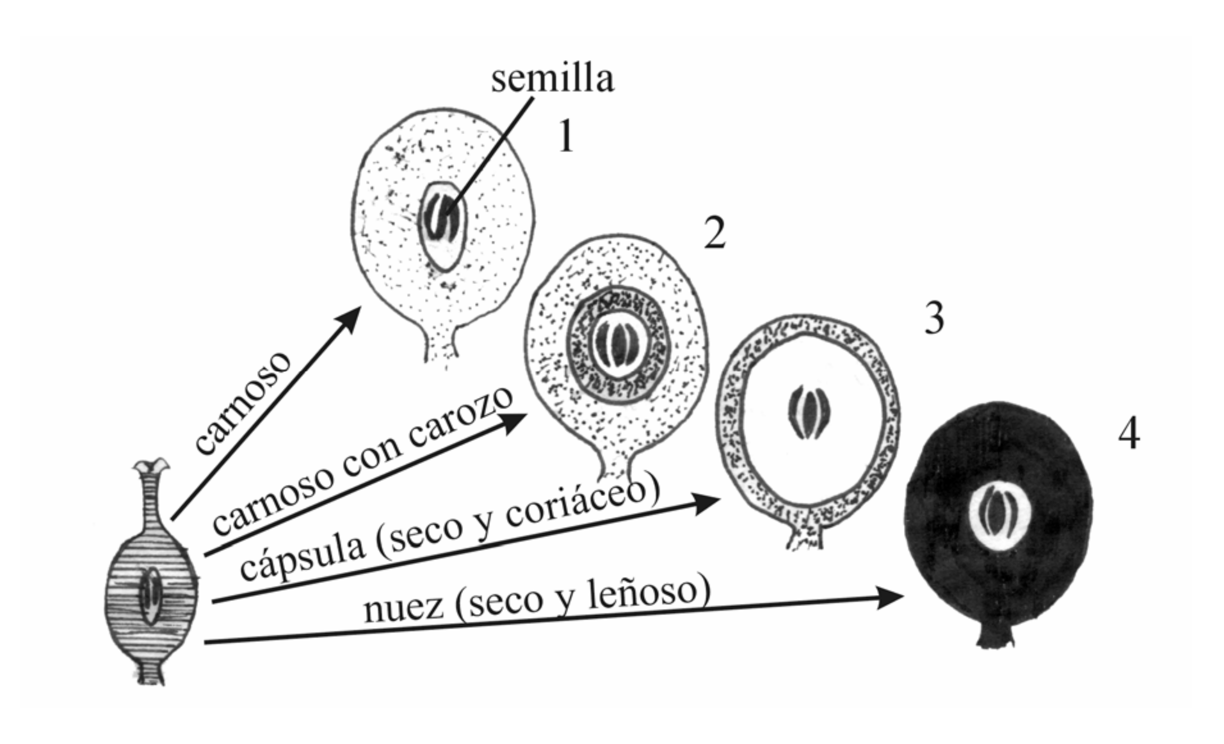


Fig. A–23: Transformaciones posibles del pistilo: (1) Baya, (2) Drupa, (3) Cápsula, (4) Nuez.

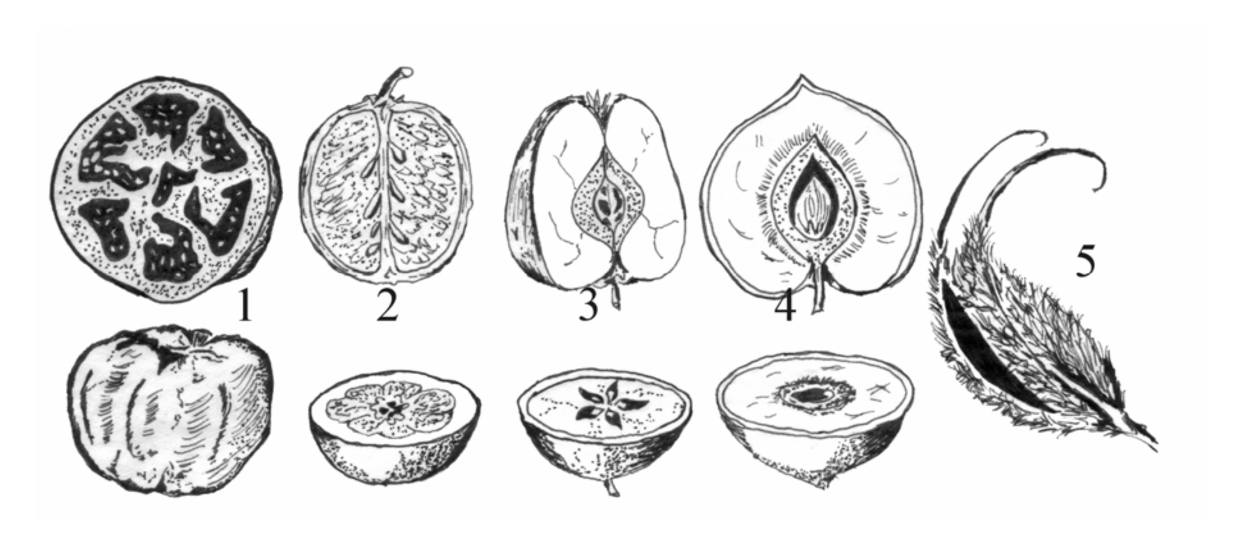


Fig. A–24: Tipos de fruto carnoso: (1) Baya, (2) Hesperidio, (3) Pomo, (4) Drupa, (5) Cápsula drupácea.

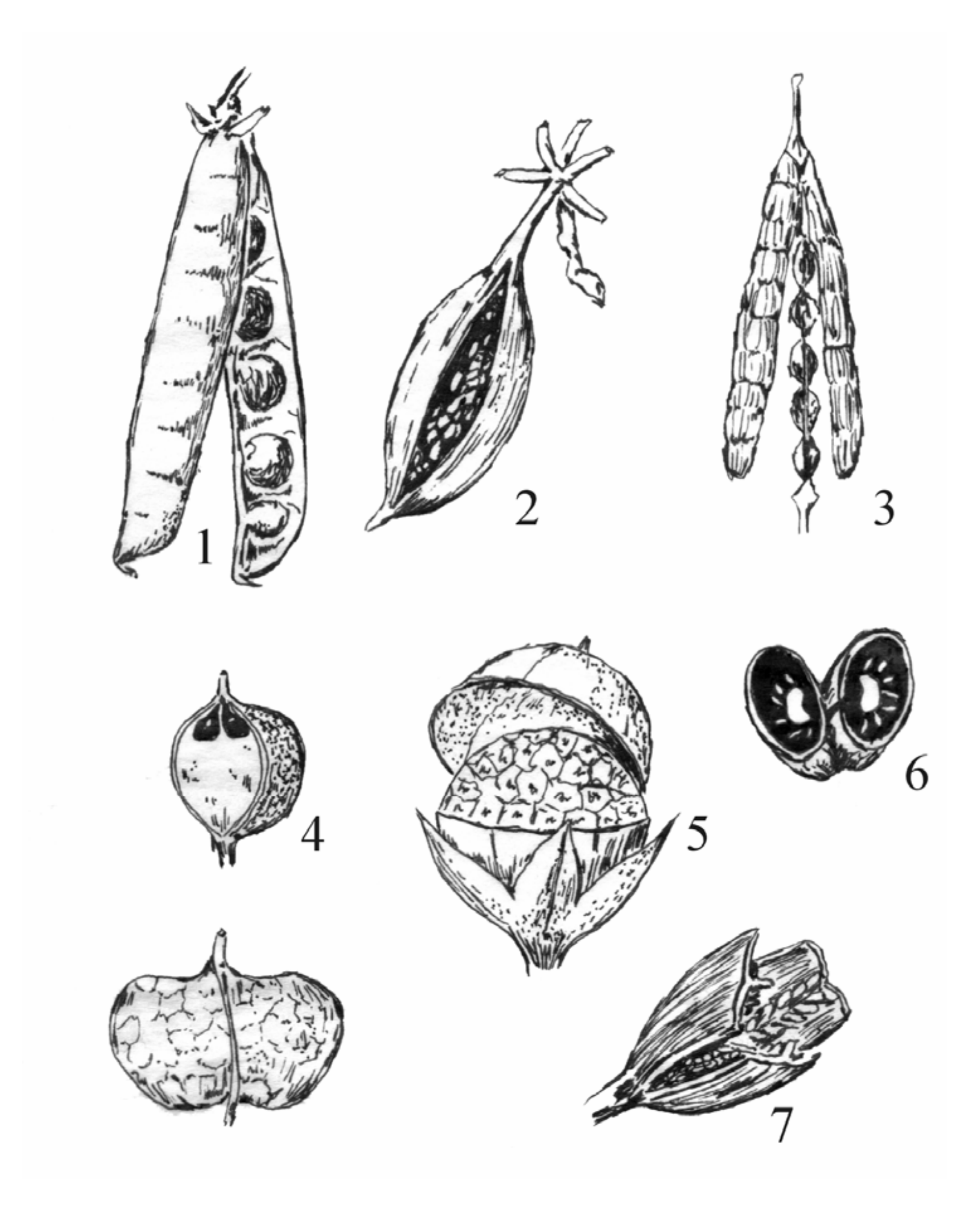


Fig. A–25: Tipos de fruto seco: (1) Legumbre, (2) Folículo, (3) Silicua, (4) Silícula, (5) Pixidio, (6) Cápsula septicida, (7) Cápsula loculicida.

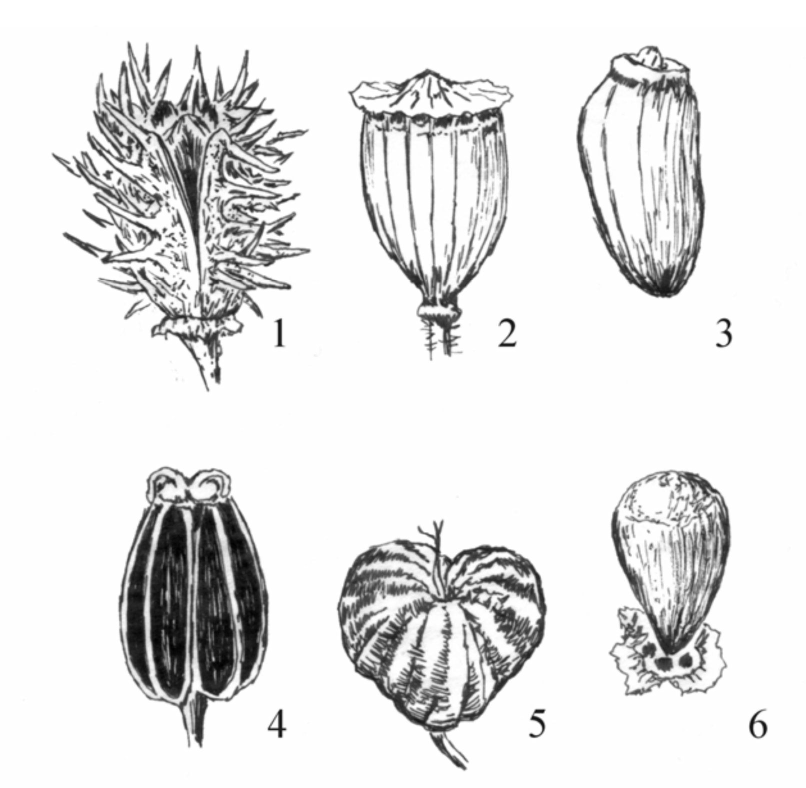


Fig. A–26: Tipos de fruto seco: (1) Cápsula septifraga, (2) Cápsula poricida, (3) Aquenio, (4) Diaquenio, (5) Triaquenio, (6) Tetraquenio.

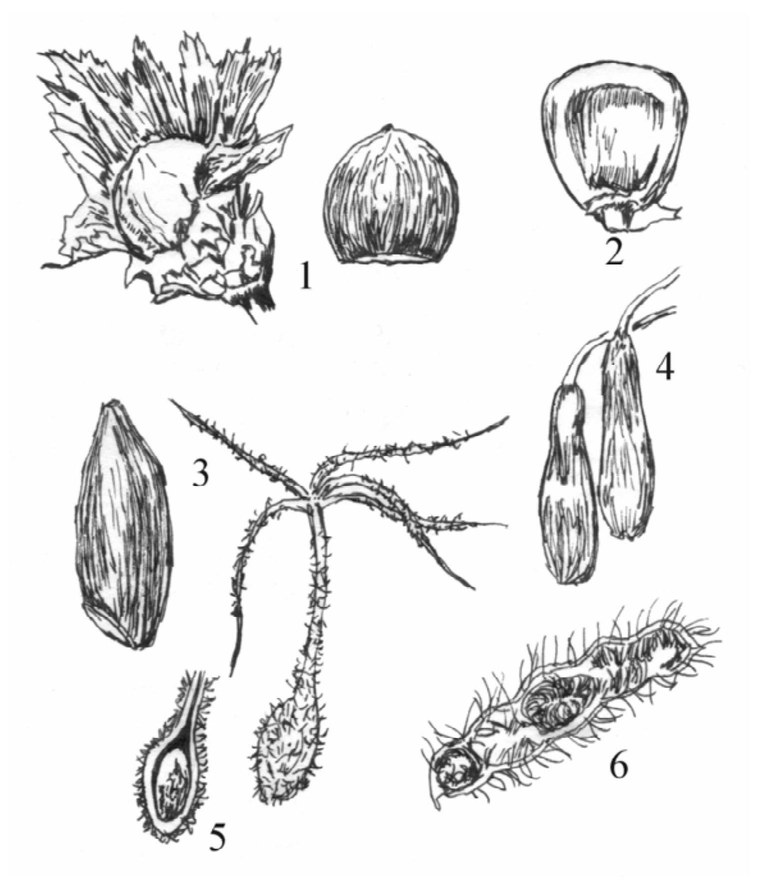


Fig. A–27: Tipos de fruto seco: (1) Nuez, (2) Cariopse de *Zea mays*, (3) Cariopse de *Triticum vulgare*, (4) Sámara, (5) Cipsela, (6) Lomento.

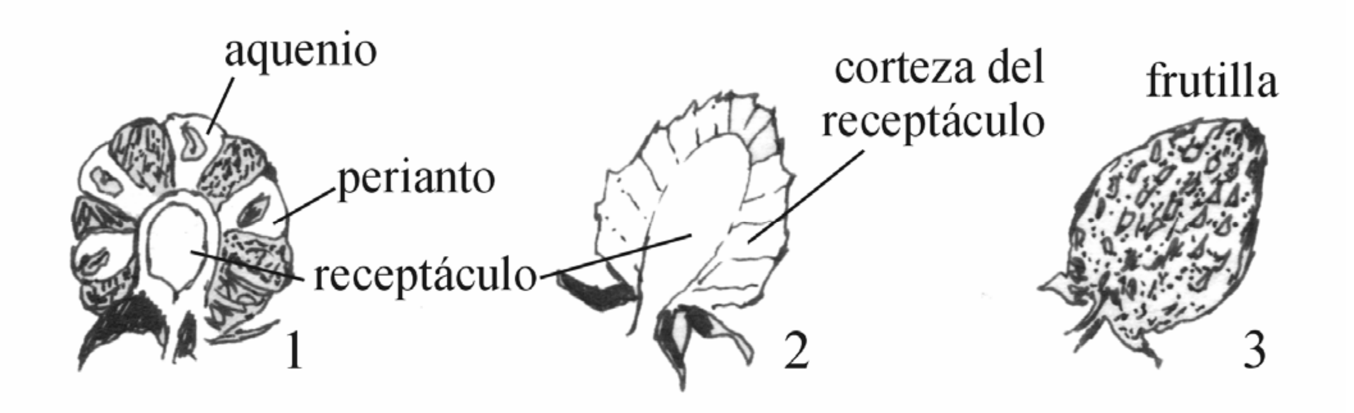


Fig. A–28: Desarrollo del poliaquenio de (1) mora y (2, 3) frutilla.

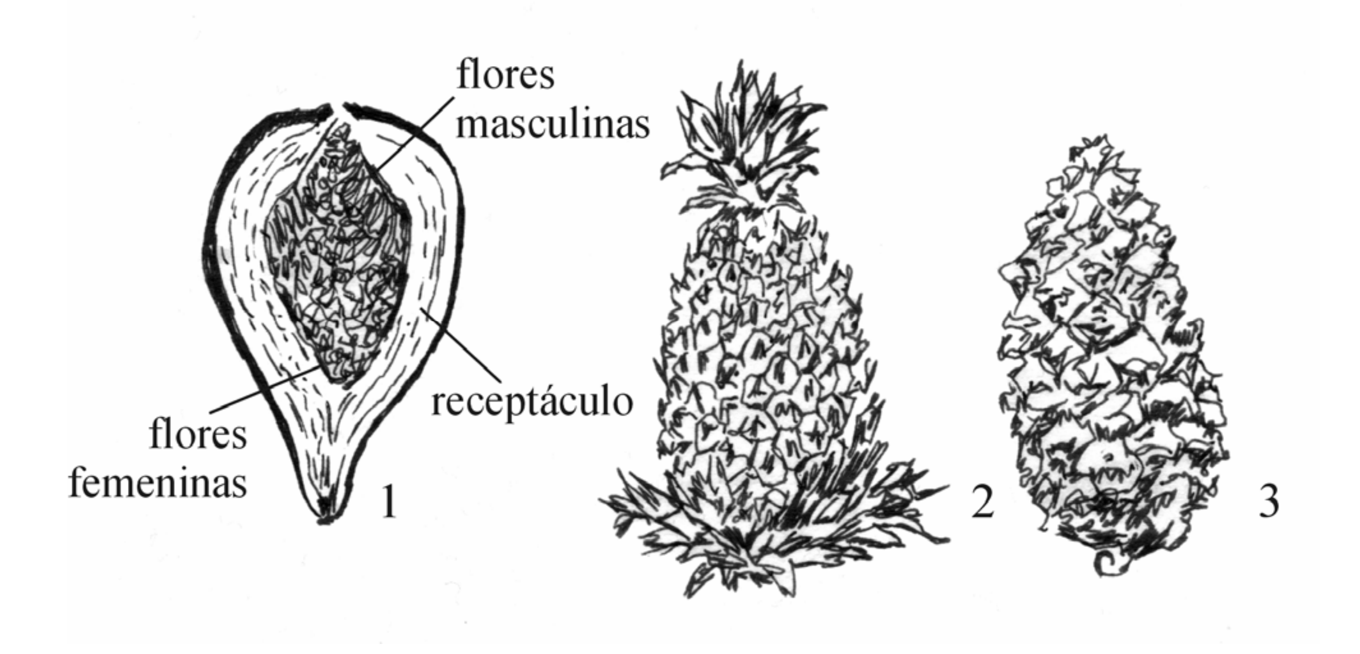


Fig. A–29: Tipos de fruto compuesto: (1) Sícono, (2) Sorosio, (3) Estróbilo.

Listado de Familias de Plantas Vasculares típicas de América del Sur

(Cortesía del Dr. Stephan Beck, en base al sistema de clasificación de Arthur Cronquist, 1998)

Clase Dicotyledoneae (Magnoliopsida)

Magnollidae

- Magnoliales
  - Magnoliaceae
  - Annonaceae
  - Myristicaceae
- Laurales
  - Monimiaceae
  - Lauraceae
  - Hernandiaceae
- Piperales
  - Chloranthaceae
  - Piperaceae
- Aristolochiales
  - Aristolochiaceae
- Nymphaeales
  - Cabombaceae
  - Nymphaceae
- Ranunculales
  - Ranunculaceae
  - Berberidaceae
  - Menispermaceae
  - Sabiaceae
- Papaverales
  - Papaveraceae

Hamamelidade

- Urticales
  - Ulmaceae
  - Moraceae
  - Urticaceae
- Juglandales
  - Juglandaceae
- Myricales
  - Myricaceae
- Fagales
  - Betulaceae

Caryophyllidae

- Caryophyllales
  - Phytolaccaceae
  - Nyctaginaceae
  - Aizoaceae
  - Cactaceae
  - Chenopodiaceae
  - Amaranthaceae
  - Portulacaceae
  - Basellaceae
  - Molluginaceae
  - Caryophyllaceae
- Polygonales
  - Polygonaceae
- Plumbaginales
  - Plumbaginaceae

Dilleniidae

- Dilleniales
  - Dilleniaceae
- Theales
  - Ochnaceae
  - Caryocaraceae
  - Theaceae
  - Actinidiaceae
  - Marcgraviaceae
  - Quiinaceae
  - Elatinaceae
  - Guttiferae
  - Guttiferae
- Malvales
  - Elaeocarpaceae
  - Tiliaceae
  - Sterculiaceae
  - Bombacaceae
  - Malvaceae
- Lecythidales
  - Lecythidaceae
- Nepenthales
  - Droseraceae
- Violales
  - Flacourtiaceae
  - Bixaceae
  - Violaceae
  - Frankeniaceae
  - Turneraceae
  - Passifloraceae
  - Caricaceae
  - Cucurbitaceae

- Begoniaceae
- Loasaceae

- Salicales
    - Salicaceae
- Capparales
    - Tovariaceae
    - Capparidaceae
    - Cruciferae
- Ericales
    - Clethraceae
    - Ericaceae
- Ebenales
    - Sapotaceae
    - Ebenaceae
    - Styracaceae
    - Symplocaceae
- Primulales
    - Theophrastaceae
    - Myrsinaceae
    - Primulaceae

Rosidae

- Rosales
    - Brunelliaceae
    - Connaraceae
    - Cunoniaceae
    - Dialypetalanthaceae
    - Columeliaceae
    - Grossulariaceae
    - Crassulariaceae
    - Saxifragaceae
    - Rosaceae
    - Chrysobalanaceae
- Fabales
    - Leguminosae
- Proteales
    - Proteaceae
- Podostemales
    - Podostemaceae
- Haloragales
    - Haloragaceae
- Myrtales
    - Lythraceae
    - Thymelaeaceae
    - Myrtaceae
    - Onagraceae
    - Melastomataceae
    - Combretaceae
- Rhizophorales
    - Rhizophoraceae
- Cornales
    - Cornaceae
- Santalales
    - Olacaceae
    - Opiliaceae
    - Santalaceae
    - Loranthaceae
    - Balanophoraceae
- Rafflesiales
    - Hydnoraceae
- Celastrales
    - Celastraceae
    - Hippocrateaceae
    - Aquifoliaceae
    - Icacinaceae
    - Dichapetalaceae
- Euphorbiales
    - Buxaceae
    - Euphorbiaceae
- Rhamnales
    - Rhamnaceae
    - Vitaceae
- Linales
    - Erythroxylaceae
    - Humiriaceae
    - Linaceae
- Polygalales
    - Malpighiceae
    - Vochysiaceae
    - Trigoniaceae
    - Polygalaceae
    - Krameriaceae
- Sapindales
    - Staphyleaceae
    - Sapindaceae
    - Braseraceae
    - Anacrdiaceae
    - Simaroubaceae
    - Meliaceae
    - Rutaceae
    - Zygophyllaceae
- Geraniales
    - Oxalidaceae
    - Geraniaceae
    - Tropaeolaceae
- Apiales
    - Araliaceae
    - Umbelliferae

Asteridae

- Gentianales
    - Loganiaceae
    - Gentianaceae
    - Apocynaceae

- Ascleipiadaceae
- Solanales
    - Nolanaceae
    - Solanaceae
    - Convolvulaceae
    - Polemoniaceae
    - Hydrophyllaceae
- Lamiales
    - Boraginaceae
    - Verbenaceae
    - Labiatae
- Calletrichales
    - Callitrichaceae
- Plantaginales
    - Plantaginaceae
- Scrophulariales
    - Oleaceae
    - Scrophulariaceae
    - Gesneriaceae
    - Acanthaceae
    - Pedaliaceae
    - Bignoniaceae
    - Lentibulariaceae
- Campanulales
    - Campanulaceae
- Rubiales
    - Rubiaceae
- Dipsacales
    - Caprifoliaceae
    - Valerianaceae
    - Dipsacaceae
- Calycerales
    - Calyceraceae
- Asterales
    - Compositae

Clase Monocotyledoneae (Liliopsida)

- Alismatales
    - Butomaceae
    - Limnocharitaceae
    - Alismataceae
- Hydrocharitales
    - Hydrocharitaceae
- Najadales
    - Juncaginaceae
    - Potamogetonaceae
    - Ruppiaceae
    - Najadaceae
    - Zannichelliaceae
- Triuridales
    - Triuridaceae
- Arecales
    - Arecaceae
- Cyclanthales
    - Cyclanthaceae
- Arales
    - Araceae
    - Lemnaceae
- Commelinales
    - Rapateaceae
    - Xyridaceae
    - Mayacaceae
    - Commelinaceae
- Eriocaulales
    - Eriocaulaceae
- Juncales
    - Juncaceae
- Cyperales
    - Cyperaceae
    - Poaceae
- Typhales
    - Typhaceae
- Bromeliales
    - Bromeliaceae
- Zingiberales
    - Strelitziaceae
    - Musaceae
    - Heliconiaceae
    - Zingiberaceae
    - Cannaceae
    - Marantaceae
- Liliales
    - Pontederiaceae
    - Liliaceae
    - Iridaceae
    - Velloziaceae
    - Agavaceae
    - Smilacaceae
    - Dioscoreaceae
- Orchidales
    - Burmanniaceae
    - Corsiaceae
    - Orchidaceae



Melastomatácea en el Valle del Sajta, Chapare
Fotografía: F.E. Fontúrbel 2006

Diccionario breve de términos botánicos

A

Abundancia: Número de individuos en una unidad de área dada.

Ácido: Sustancia donadora de protones, aceptadora de un par de electrones o que produce H^+ al disolverse en agua provocando una baja en el pH.

Ácido nucleico: Macromolécula esencial de los seres vivos que contiene la información genética. Los ácidos nucleicos son dos el ADN y el ARN.

Adaptación: Fenómeno heredable a nivel del fenotipo que proporciona a los individuos una mayor capacidad de supervivencia y / o éxito reproductivo.

Adhesión: Tendencia de distintos tipos de moléculas a pegarse una a la otra.

ADN: Ácido desoxirribonucleico, macromolécula biológica que contiene la información genética de los individuos.

Alelo: Cada una de las variantes mutacionales de un determinado gen.

Alternancia de generaciones: Ciclo de vida característico de las plantas, en el que existe una fase diploide y una fase haploide.

Altitud: Parámetro de georeferenciación que indica la altura relativa de una determinada ubicación, respecto al nivel del mar. La altitud se expresa en metros.

Anabolismo: Conjunto de reacciones metabólicas que sintetizan moléculas complejas a partir de moléculas más sencillas.

Ancestro hipotético: Artificio empleado para relacionar dos o más individuos en un árbol evolutivo, para los cuales no se tiene plena seguridad de una conexión de parentesco pero se presume relación.

Anisogametos: Gametos sexuales móviles de diferentes dimensiones.

Apomixis: Proceso reproductivo por el cual las estructuras reproductivas se forman asexualmente.

Apomórfico: Adjetivo para denominar a un cierto caracter evolucionado, derivado de una forma primitiva.

Área protegida: Territorio geográficamente delimitado, público o privado, que se encuentra bajo régimen legal especial y tiene por objetivo la conservación de ecosistemas y regiones biogeográficas representativas. Es la principal forma de conservación *in–situ* de la biodiversidad.

ARN: Ácido ribonucleico, macromolécula biológica que se encarga de la transmisión de la información genética del ADN a proteínas, se diferencia del ADN por presentar la base uracilo en lugar de timina.

ARNr: Abreviación del ARN ribosomal, material genético constitutivo de los ribosomas. Puesto que este material genético contiene secuencias bastante conservadas es de mucha utilidad para realizar análisis genéticos que permitan determinar las relaciones de parentesco entre dos o más especies.

Atmósfera: Capa gaseosa que cubre al planeta Tierra. Su presencia y composición son fundamentales para la vida en el planeta.

Átomo: Es el fragmento más pequeño en el que se puede subdividir la materia sin que pierda las características físico químicas del elemento del que proviene.

ATP: Abreviación del adenosina trifosfato, la molécula energética por excelencia de las células.

Autoecología: Estudio del organismo o la especie individual.

Autótrofos: Organismos que hacen sus propias moléculas energéticas, manteniéndose sin comer otros organismos o sus moléculas.

B

Base: Aceptador de protones, dador de electrones o sustancia que produce OH^- al diluirse en agua provocando un incremento en el pH.

Biodiversidad: Conjunto de la variedad de genes, especies y ecosistemas de un área determinada, cuantificados en número y variabilidad. Las definiciones actuales incluyen dentro de la biodiversidad a la diversidad cultural humana.

Biotecnología: Rama de la biología en la que se aplica la tecnología de punta para crear seres modificados con propósitos específicos.

Bioma: Ecosistema unitario de grandes dimensiones, representativo a nivel mundial.

Biosfera: Totalidad del ambiente abiótico habitado por seres vivos.

Botánica: Rama de la biología dedicada al estudio de las plantas (reino *Plantae*) y algunas otras formas de vida.

C

C_3: Tipo de fotosíntesis correspondiente al modelo general descrito en el Capítulo 4, en el que se forman compuestos de tres carbonos.

C_4: Tipo de fotosíntesis correspondiente a plantas adaptadas a condiciones de elevadas temperaturas, en las que existe una separación en el espacio de las reacciones químicas para optimizar la absorción de CO_2, caracterizada por la formación de compuestos de cuatro carbonos.

CAM: Abreviatura en inglés de Metabolismo Ácido de las Crasuláceas. Tipo de fotosíntesis facultativa (con C_3) correspondiente a plantas adaptadas a climas de desierto característicos (noches frías y días cálidos), en las que existe una separación en el tiempo de las reacciones químicas de absorción de CO_2 para minimizar la pérdida de agua por evapotranspiración.

Capacidad de carga: Límite máximo de individuos de una determinada especie que puede sostener un ecosistema.

Carbohidrato: Nombre genérico de las moléculas biológicas también conocidas como azúcares. Son macromoléculas compuestas de carbono, hidrógeno y oxígeno de gran importancia en la reserva y transporte de energía metabólica.

Catabolismo: Conjunto de reacciones metabólicas que descomponen moléculas complejas en moléculas más sencillas.

Catalizador: Cualquier sustancia que incrementa o afecta la velocidad de una reacción sin modificarse, de forma que puede ser recuperada al final de la reacción.

Célula: Es unidad básica, estructural y funcional de la vida. Unidades menores a la célula no son consideradas vivas.

Ciclo de vida: Conjunto de fases y estadios por los que pasan los individuos desde su formación hasta su muerte.

Ciencia: Conjunto de conocimientos sistemáticamente ordenados, que corresponden a una forma organizada y dirigida de adquirir información.

Citoplasma: Fase coloidal, que puede constituir hasta el 55% del volumen celular, donde se encuentran inmersos todos los organelos celulares y se dan las reacciones metabólicas.

CO_2: Fórmula química del dióxido de carbono, una de las principales moléculas que intervienen en el metabolismo vegetal.

Coevolución: Proceso evolutivo paralelo y estrechamente relacionado entre dos especies.

Cohesión: La tendencia de moléculas del mismo tipo a mantenerse juntas.

Compuesto: Sustancia que consta de dos o más elementos combinados.

Comunicación personal: Forma de obtención de información científica por medio de una entrevista personal y directa con la persona que la generó.

Comunidad: Conjunto de poblaciones de diferentes especies y sus interacciones.

Conservación: Disciplina que se encarga de la gestión de la biosfera a fin de obtener un beneficio sostenido del ambiente.

Conservación de ecosistemas: Nuevo paradigma de la conservación de la biodiversidad, orientado a largo plazo, que busca la conservación de las especies por medio de la conservación de su medio natural y sus relaciones ecológicas.

Criptógama: Denominación que se aplica a los vegetales con niveles de organización inferiores al cormo.

D

Deducción: Forma de razonamiento donde se infiere una conclusión a partir de una o varias premisas. En la argumentación deductiva válida la conclusión debe ser verdadera si todas las premisas son asimismo verdaderas.

Desarrollo sostenible: Capacidad de satisfacer las necesidades actuales mejorando la calidad de vida, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades.

Desnaturalización: Proceso por el cual las proteínas pierden su conformación tridimensional.

Determinar: Se oran especies completamente desconocidas por medio de claves dicotómicas.

Diferenciación: Proceso celular que se da en células no especializadas para transformarlas en células especializadas por medio de cambios estructurales y funcionales.

Dióxido de carbono: Gas incoloro, inodoro y con un ligero sabor ácido, cuya molécula consiste en un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno (CO_2).

Diploide: Situación en la que cada cromosoma está formado por dos parejas iguales.

Distribución: Abundancia relativa de las especies en determinados espacios geográficos.

E

Ecología: Ciencia que estudia la distribución y la abundancia de los organismos vivos en función a las relaciones entre ellos y con el medio.

Ecología de la conservación: Corriente de la ecología que busca el mantener la riqueza y diversidad de especies del planeta a largo plazo.

Ecología de poblaciones y comunidades: Estudio de la distribución y la abundancia, debidos a las interacciones del conjunto de individuos de una misma especie, que coexisten en un mismo espacio y tiempo. El estudio de la ecología de comunidades se refiere a las interacciones existentes entre varias poblaciones.

Ecología fisiológica: Estudia las reacciones de los organismos a los factores físicos y químicos del medio.

Ecosistema: Conjunto formado por las comunidades bióticas y el medio abiótico.

Electronegatividad: Es la atracción ejercida por un átomo sobre los electrones de un enlace covalente.

Endémica: Especie que solamente se encuentra en un determinado país, y no se encuentra en ningún otro sitio del mundo. Las especies endémicas son prioritarias para la conservación.

Energía: Es la capacidad que tiene la materia de realizar un trabajo.

Energía libre: Energía disponible para realizar un trabajo.

Energía lumínica: Energía proveniente primariamente del sol. La energía lumínica puede ser transformada en energía química por medio de la fotosíntesis.

Enzima: Son moléculas orgánicas (proteínas o RNA) producidas por los organismos, que actúan como catalizadores de reacciones.

Era geológica: Periodo de tiempo geológico delimitado por acontecimientos físicos y biológicos determinantes para la historia natural del planeta.

Especiación: Proceso por el cual se originan nuevas especies.

Especie: Grupo de individuos de características morfológicas y fisiológicas similares, capaces de intercambiar material genético entre sí y producir descendencia fértil.

Esporofito: Fase diploide del ciclo de vida, en la que se producen esporas u otras células haploides por meiosis.

Estadística: Rama de las matemáticas que se ocupa de reunir, organizar y analizar datos numéricos y que ayuda a resolver problemas como el diseño de experimentos y la toma de decisiones.

Evolución: Proceso de cambio genético en una población, que da lugar a nuevas variantes y a nuevas especies.

Exaptación: Fenómeno adaptativo en el que primero aparece la morfología y después la función de un determinado caracter.

F

Fanerógamas: Denominación que se aplica a los vegetales con un nivel de organización denominado cormo.

Fenología: Estudio de los fenómenos periódicos de los organismos vivos y su relación con el ambiente.

Ficología: Ciencia que estudia a las algas microscópicas y macroscópicas, en cuanto a su evolución, taxonomía, morfología y fisiología.

Filogenia (Gr. *phylum,* raza, tribu): Relaciones evolutivas entre los organismos, la historia del desarrollo de un grupo de organismos.

Fisiología: Ciencia que estudia el metabolismo y la dinámica química y bioquímica de los procesos biológicos.

Fluorescencia: Fenómeno que se observa *in–vitro* cuando los pigmentos clorofílicos son excitados por medio de energía lumínica.

Fotosíntesis: Proceso en el cual las plantas y otros organismos autótrofos utilizan la energía lumínica para fabricar azucares y otras moléculas orgánicas a partir de dióxido de carbono y agua.

Fungi: Reino biológico donde se incluyen a los hongos.

G

Gametofito: Fase haploide del ciclo de vida, en la que se producen gametos haploides que luego se fusionan para dar lugar a un individuo diploide.

Gen: Unidad fundamental de la herencia, formada por ADN que codifica un polipéptido que da origen a una o a veces más proteínas.

Genética: Ciencia que estudia la herencia biológica entre generaciones. Actualmente la genética es una de las ciencias más importantes por el sinnúmero de aplicaciones que tiene.

Geología: Ciencia que estudia al planeta Tierra y su dinámica interna y externa.

H

Hábitat: Es el sitio o ambiente ocupado por un organismo**.**

Haploide: Situación en la cual el organismo está dotado de una sola copia del material genético.

Herbario: Colección de especimenes vegetales secos y prensados.

Heterótrofos: Un organismo que no puede hacer sus propias moléculas energéticas y requiere obtenerlas alimentándose de otros organismos o sus productos.

Híbrido: Individuo producto del cruce de padres de diferente genotipo.

Hidrofílico: Se dice de las substancias, moléculas o porciones de estas que tienen afinidad por el agua y que son solubles en ella.

Hidrofóbico: Se dice de las substancias, moléculas o porciones de estas que no tienen afinidad por el agua y son insolubles en ella.

Hipótesis: Término procedente del griego que designa, etimológicamente, 'aquello que se encuentra debajo de algo sirviéndole de base o fundamento'. En lógica filosófica, se entiende por hipótesis un enunciado (o un conjunto de enunciados) que precede a otros enunciados y constituye su fundamento. Asimismo, puede definirse como una proposición cuya verdad o validez no se cuestiona en un primer momento, pero que permite iniciar una cadena de razonamientos que luego puede ser adecuadamente verificada. Así, un 'razonamiento por hipótesis' es aquel que comienza 'suponiendo' la validez de una afirmación, sin que ésta se encuentre fundamentada o sea universalmente aceptada. La formulación de hipótesis adecuadas y correctamente fundamentadas en la experiencia es uno de los rasgos esenciales del método científico, desde Galileo e Isaac Newton. En lógica, la hipótesis toma la forma de un enunciado condicional, que debe seguir determinadas reglas para su admisión como razonamiento válido.

I

Identificar: Taxonómicamente se refiere a la comparación de organismos que se quiere clasificar.

Inducción: En el campo de la lógica, proceso en el que se razona desde lo particular hasta lo general, al contrario que con la deducción. La base de la inducción es la suposición de que si algo es cierto en algunas ocasiones también lo es en situaciones similares aunque no se hayan observado.

Ingeniería genética: Disciplina que trata sobre la secuenciación, manipulación, extracción e inclusión de material genético entre especies, para lograr resultados específicos.

Interespecífico: Tipo de relación que se da entre individuos de diferentes especies.

Intraespecífico: Tipo de relación que se da entre individuos de una misma especie.

Introgersión: Proceso de hibridación en el cual un híbrido cruza con alguna de las especies parentales para dar lugar a un segundo híbrido.

Investigación: Proceso que permite generar conocimiento a partir de un análisis de la realidad.

Investigación científica: Proceso que permite generar conocimiento a partir del análisis de la realidad mediante el empleo del método científico.

L

Latitud: Parámetro de georeferenciación que indica la distancia (medida en grados, minutos y segundos) de una determinada ubicación, respecto a la línea del Ecuador (latitud cero).

Lípido: Macromolécula fundamental de los seres vivos, que engloba a las grasas, ceras y aceites. Tiene funciones importantes en el metabolismo energético y en la formación de estructuras.

Loci: Plural de locus.

Locus: Lugar del cromosoma donde se sitúa un gen específico.

Longitud: Parámetro de georeferenciación que indica la distancia (medida en grados, minutos y segundos) de una determinada ubicación, por medio del trazado de meridianos paralelos, respecto a un meridiano principal (meridiano de Greenwich).

M

Macromolécula: Moléculas de gran tamaño o peso molecular que por lo general están compuestas por una gran cantidad de subunidades.

Medio: Conjunto de factores abióticos que rodea a los organismos.

Meiosis: Proceso de división celular por el cual se generan células haploides a partir de células diploides. Este proceso está involucrado directamente con la formación de esporas y gametos.

Meiótico: Adjetivo referido al proceso de división celular por el cual se reduce la carga genética a la mitad, respecto a la célula madre.

Metabolismo: Conjunto de reacciones catabólicas y anabólicas.

Método científico: Método de estudio sistemático de la naturaleza que incluye las técnicas de observación, reglas para el razonamiento y la predicción, ideas sobre la experimentación planificada y los modos de comunicar los resultados experimentales y teóricos.

Micología: Ciencia que estudia a los hongos microscópicos, macroscópicos y a los líquenes, en cuanto a su evolución, taxonomía, morfología y fisiología.

Mitosis: Proceso de división celular en el cual se producen células hijas con la misma carga genética que las células madre.

Mitótico: Adjetivo referido al proceso de división celular por el cual se general células hijas con la misma carga genética de la célula madre.

Molécula: Partícula sin carga, de un compuesto, formado por la unión de al menos dos átomos.

Mónera: Reino biológico donde se incluyen a todos los organismos procariotas.

Monómeros: Molécula que constituye una unidad de la que se componen moléculas de mayor tamaño.

Mutación: Proceso que da lugar a la alteración del ADN o la estructura de los cromosomas.

N

Nicho ecológico: Es el papel de un organismo en un determinado hábitat, es la "profesión" o "especialidad" del organismo en su ambiente, también se define como el conjunto de factores que afectan a un organismo y determinan su papel en el ecosistema. Otros autores consideran al nicho ecológico como el hipervolumen de condiciones que definen el hábitat real de una especie.

Niveles de organización: Escala discreta que separa a las forma de vida de acuerdo al grado de agrupación y relación.

Nomenclatura: Parte de la sistemática que crea nombres para designar a las plantas o grupos de vegetales.

Nucleósido: Macromolécula formada por la unión de una base nitrogenada (C, G, A, T, U) y un azúcar (ribosa o desoxirribosa).

Nucleótido: Nucleósido unido covalentemente a un grupo fosfato.

O

O_2: Fórmula molecular del oxígeno diatómico, molécula esencial para la respiración de los seres vivos aeróbicos. También se genera como producto de la fotosíntesis.

O_3: Véase *Ozono*.

Organismo Pluricelular: Forma de vida compuesta por más de dos células.

Organismo Unicelular: Forma de vida compuesta de una sola célula

Organismo: Una forma de vida individual.

Órgano: Una estructura conformada por varios tejidos adaptados como grupo para cumplir una determinada función.

Oxidación: Perdida de electrones de un átomo.

Ozono: Molécula triatómica de oxígeno que es tóxica para los seres vivos cuando es respirada, pero su presencia en la atmósfera es fundamental para filtrar las radiaciones ultravioleta, que son dañinas para los seres vivos.

P

PAR: Abreviatura en inglés que significa "radiación fotosintéticamente activa". Es la cantidad de energía lumínica (normalmente proveniente del sol) que puede ser utilizada para realizar fotosíntesis.

Pared celular: Estructura propia de las células vegetales formada por celulosa. En las bacterias también existe una pared celular, pero de una composición diferente a la pared celular de los vegetales.

pH: Es el índice que se utiliza para expresar la concentración de H^+ en una solución. Se define como pH = -$\log_{10}[H^+]$. Si es menor a 7 la solución es ácida y si es mayor es básica. Cuando es igual a 7 se considera que la solución es neutra.

Plantae: Reino biológico donde se incluyen a todas las plantas vasculares.

Plesiomórfico: Adjetivo para denominar a un cierto caracter en su forma primitiva.

Pigmento: Sustancia química capaz de absorber ciertas longitudes de onda de la radiación lumínica visible y, conjuntamente con el sistema fotosintético de la célula, convertirla en energía química.

Población: Conjunto de individuos de una misma especie y las interacciones que se dan entre ellos.

Polímeros: Moléculas compuestas por más de dos subunidades de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

Polinización: Proceso de transferencia del polen de las estructuras masculinas a las femeninas de la planta.

Polipéptidos: Polímeros o cadenas compuestas por subunidades de aminoácidos enlazados entre si por enlaces peptídicos.

Poliploidía: Fenómeno en el cual la célula (o las células de un organismo) poseen más de dos copias del material genético.

Potencial hídrico: Energía potencial del agua.

Proteína: Las proteínas son las macromoléculas biológicas más importantes, ya que cumplen funciones estructurales y metabólicas esenciales en todos los seres vivos. Las *enzimas* son proteínas.

Protista: Reino biológico donde se incluyen a los organismos unicelulares y pluricelulares eucariotas microscópicos de organización simple y a las algas.

Q

Quimiolitótrofo: Organismo heterótrofo que genera energía metabólica a través de reacciones de reducción–oxidación de la materia inorgánica.

R

Reducción: Ganancia de electrones de un átomo.

Registro geológico: Conjunto de pautas que proveen referencias sobre un hecho pasado, situado en la escala de tiempo geológico.

Reproducción: Proceso por el cual un organismo perpetúa la especie.

Respiración: Proceso metabólico por el cual se obtiene energía química a partir de la oxidación lumínica de un azúcar.

S

Selección Natural: Proceso direccional y continuo de reproducción diferencial de los individuos de una especie en función a su capacidad de supervivencia y éxito reproductivo.

SERNAP: Abreviatura del Servicio Nacional de Áreas Protegidas, institución descentralizada administrativamente, y jerárquicamente dependiente del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación, que se encarga de la gestión integral de las Áreas Protegidas de Bolivia.

Sinecología: Estudio del grupo o grupos de organismos, los cuales están asociados unos con otros, formando una unidad.

Sistemática: Estudio científico de los tipos y diversidad de organismos como de sus relaciones.

Solvente: Sustancia que disuelve al soluto y que está en mayor concentración dentro de la solución.

Sucesión ecológica: Proceso direccional, continuo y no estacional de colonización y extinción de las poblaciones de especies de un determinado lugar.

T

Taxa: Plural de taxón.

Taxón: Término general para cada una de las categorías taxonómicas, como la especie, clase, orden y división.

Taxonomía (Gr. *taxis,* disposición, + *nomos*, ley)**:** La ciencia de la clasificación de organismos.

Tejido: Una unidad conformada por muchas células semejantes entre sí que desempeñan una función común.

Traducción: a

Transcripción: a

Tropical: Región de la Tierra ubicada 21º por encima y por debajo de la latitud cero de planeta Tierra. Por su posición respecto al sol tiene una dinámica estacional y climática particular, a la que se atribuye la concentración de mayor biodiversidad en esta región.

V

Variabilidad: Grado o número de diferencias en los individuos de una población.

Índice alfabético

U

V

El esfuerzo de estos tres jóvenes autores bolivianos para lograr una síntesis sobre temas de investigación en el campo de la botánica como la taxonomía, morfología, fisiología, evolución y ecología de los recursos vegetales, pasa de ser un simple manual de botánica. Esta información tan útil para todo el público interesado en su Medio Ambiente, no estaba disponible hasta ahora en el país en esta forma tan condensada y de fácil acceso.

Dr. Stephan G. Beck
Director del Herbario Nacional de Bolivia





http://www.mbotanica.8m.com

ISBN 99905-0-548-9